

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин, акад. А. Векшинский, акад. А. Н. Колмогоров (зам. главного редактора), акад. Л. Курсанов, акад. С. А. Лебедев, акад. И. Н. Назаров, акад. А. И. Некрасов, акад. А. И. Опарин (главный редактор), акад. Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов, акад. Н. М. Страхов, акад. А. Н. Фрумкин (зам. главного редактора)

24-й ГОД ИЗДАНИЯ

1956

ТОМ 111, № 6

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Стр.

- Е. А. Бредихина. Об абсолютной сходимости рядов Фурье почти-периодических функций 1163
- М. Г. Крейн. К теории акселерантов и S-матриц канонических дифференциальных систем. 1167
- О. Б. Лупанов. О вентильных и контактно-вентильных схемах 1171
- С. А. Орлов. Конструкция резольвент и спектральных функций одномерных линейных самосопряженных сингулярных дифференциальных операторов 2-го порядка 1175
- В. А. Плисс. Исследование одного нелинейного дифференциального уравнения третьего порядка 1178
- Н. И. Польский. Об одной общей схеме применения приближенных методов 1181
- М. К. Потопов. О теоремах типа Джексона в метрике L_p 1185
- В. И. Протасов. Об одном линейном дифференциальном уравнении бесконечного порядка 1189

МЕХАНИКА

- С. С. Вялов и Н. А. Цытович. Оценка несущей способности связных грунтов по величине вдавливания сферического штампа 1193

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Хр. Я. Христов. Приближенное выражение для функции Грина кинетического уравнения нейтронов 1197

ФИЗИКА

- В. З. Бланк и Д. В. Ширков. Асимптотические исследования вершинной части в квантовой электродинамике 1201
- Э. Г. Горжевская и Н. М. Панова. Фотообразование медленных π -мезонов на сложных ядрах 1205
- Л. Н. Дерюгин и Г. Х. Фридман. Резонансные кривые двойного резонанса на отражательной решетке 1209
- В. И. Карпман и И. З. Фишер. Об аннигиляции позитронов в металлах 1212
- В. С. Комельков и Д. С. Парфенов. Расширение канала искры в воздухе при токах около $2 \cdot 10^6$ ампер 1215
- Ю. Л. Соколов, М. М. Сулковская, Е. А. Альбицкая и Э. И. Карпушкина. Уровни ядра Li^6 1219

- Ю. М. Широков. Об условиях релятивистской инвариантности квантовой теории . . . 1223
 Э. В. Шпольский и Л. А. Климова. Эмиссионный спектр коронена в растворах при низких температурах . . . 1227

ГЕОФИЗИКА

- А. Г. Калашников. О намагничивании призм в открытой и замкнутой цепях . . 1231

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- Б. Я. Пинес и Э. Ф. Чайковский. Рентгенографическое определение коэффициентов гетеродиффузии в сплавах, образующих твердые растворы замещения . . . 1234
 Ю. И. Уханов. Импульсный метод исследования фотоэлектрических свойств p - n перехода в германии . . . 1238

ХИМИЯ

- В. С. Абрамов и А. С. Капустина. Эфиры α -окси- β -хлор-*изо*-пропилфосфиновой и 1,2-эпокси-2-пропилфосфиновой кислот . . . 1243
 М. М. Азановская и В. И. Пансевич-Коляда. Действие гидроперекиси ацетила на алкилфуриловые спирты . . . 1245
 Ю. А. Арбузов и Б. Л. Дяткин. Диеновый синтез с хлорметилвинилкетонном . . 1249
 Л. А. Игонин, Э. Г. Гинцберг, Н. А. Красулина и В. А. Каргин. К вопросу о кинетике отверждения фенольно-формальдегидных смол с помощью гексаметилентетрамина . . . 1252
 М. О. Коршун, Н. Э. Гельман и К. И. Глазова. Одновременное микроопределение фтора, углерода и водорода в элементоорганических соединениях . . . 1255
 В. А. Кропачев, Б. А. Долгопоск и К. В. Данилович. Изомеризация металлоорганических соединений аллильного типа . . . 1257
 Н. С. Наметкин, А. В. Топчиев и Т. И. Чернышева. Синтез некоторых соединений кремния с циклоалкильными радикалами . . . 1260
 Г. А. Разуваев, Ю. А. Сорокин и Г. А. Домрачев. Фотореакции хроморганических соединений . . . 1264

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Б. В. Дерягин, С. К. Жеребков и А. М. Медведева. О механизме адгезии и автогезии каучуков . . . 1267
 Л. И. Иванов и М. П. Матвеева. Об изменении парциальных значений термодинамических величин для железа в сплавах системы железо — хром в твердом состоянии . . . 1271
 Н. П. Кейер. Исследование влияния взаимодействия между адсорбированными молекулами ацетиленна на закисы никеля на закономерности адсорбции . . 1274
 П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман и Л. А. Кочанова. Адсорбционное понижение прочности металлических монокристаллов и самопроизвольное диспергирование в жидкой среде . . . 1278
 Е. Рукенштейн и О. Смигельский. К вопросу о коэффициентах активности для бинарных смесей неэлектролитов . . . 1282
 Н. М. Эмануэль. Стимулирование цепных разветвленных реакций воздействием проникающих излучений в начальный период развития процесса . . . 1286

ГЕОХИМИЯ

- К. Ф. Родионова, Л. Е. Штеренберг и Н. Г. Грибова. К характеристике люминесцентных свойств углей различных марок . . . 1290

БИОХИМИЯ

- А. Г. Пасынский и В. П. Блохина. Окисление аскорбиновой кислоты в проточных условиях . . . 1293
 А. С. Спириг, А. Н. Белозерский и А. Претель-Мартинес. Сравнительное изучение состава нуклеиновых кислот у культур кишечной палочки различных возрастов . . . 1297
 Д. Т. Цонев. К вопросу об аминокислотном составе некоторых разновидностей капусты . . . 1300

ГЕОЛОГИЯ

- В. К. Голубцов. К вопросу о нижней границе в объеме тульского горизонта нижнего карбона в Припятском прогибе . . . 1305
 Г. А. Дмитриев. О симметрии кливажа в каменных углях Инты . . . 1308
 А. Д. Каленов. О допегматитовых грейзенах . . . 1311

- Н. Н. Карлов. Новые данные о вулканическом пепле г. Днепропетровска в связи с вопросом о генезисе лесса 1314
- И. А. Конохов и Г. Н. Комардинкина. К вопросу о региональной литологии верхнеюрских карбонатных отложений северо-восточного Кавказа . . . 1318

ДРОГЕОЛОГИЯ

- В. Н. Корценштейн. Некоторые вопросы формирования подземных вод майкопских горизонтов Центрального и Северо-Западного Предкавказья 1322
- Н. Д. Старикова. Накопление и распределение осадков в некоторых водохранилищах канала им. Москвы 1326

СТРОГРАФИЯ

- Э. Н. Янов. К вопросу о происхождении красноцветных и сероцветных окрасок осадочных пород 1330

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

- Д. М. Раузер-Черноусова. О невозможности признания *Borelis princeps* Ehrenberg, 1854 типичным видом рода *Schwagerina* Moeller, 1877 1333
- М. Н. Чугаева. Новые роды трилобитов из среднего и верхнего ордовика Южного Казахстана 1336

ЦИТОЛОГИЯ

- В. Я. Бродский. Количество рибонуклеиновой кислоты в нервных клетках различных размеров 1340
- И. И. Кикнадзе. Динамика дезоксирибонуклеиновой кислоты в ходе развития яиц беспозвоночных 1344

ГИСТОЛОГИЯ

- Л. Б. Берлин. Об изменениях поперечнополосатых мышечных волокон кожи под воздействием питания на ней клещей *Hyalomma asiaticum* P. Sch. et E. Schl. (сем. Ixodidae) 1348

ЭКОЛОГИЯ

- Г. В. Михальченко. Теплоустойчивость мерцательного эпителия и ее изменение у травяной лягушки (*Rana temporaria* L.) 1352

ГИДРОБИОЛОГИЯ

- А. Е. Крисс. Численность микробного населения и биомасса на различных глубинах морей и океанов 1356

МИКРОБИОЛОГИЯ

- К. В. Косиков, Н. С. Гельман и О. Г. Раевская. Расщепление сахарозы мальтазой в дрожжевых клетках 1359
- К. Ив. Марков и Г. К. Саев. Изменение электрокинетического потенциала стафилококков при их адаптации к пенициллину 1361

АНАТОМИЯ РАСТЕНИЙ

- Л. И. Вигоров. Образование алейроновых зерен в зерновках пшеницы 1363

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- Е. А. Дороганевская. О стойкости каталазы растений к повышению температуры 1367

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- М. Г. Николаева. К вопросу о роли органических кислот в прорастании покоящихся семян 1371
- С. И. Пашкаръ. Возрастные изменения содержания фенольных соединений и распределение их по органам растения картофеля 1375

ФИЗИОЛОГИЯ

- З. И. Бирюкова. Об условных дыхательных рефлексах человека 1378
- А. Г. Гинецинский и В. Ф. Васильева. Эфферентная иннервация канальцев почки 1382
- О. Г. Карандеева и М. А. Абрикосова. Потребление кислорода морскими беспозвоночными в некоторых условиях 1385
- Е. А. Сквисская. О роли добавочных раздражений в развитии гистопатологических изменений у животных, зараженных анаэробной инфекцией 1388
- Т. Н. Соллертинская. Изменения условно-рефлекторной деятельности у кроликов после экстирпации верхних шейных симпатических узлов 1392

ЭМБРИОЛОГИЯ

- Г. В. Орловская, А. Л. Зайдес и А. А. Тустановский. Образование коллагена в эмбриогенезе 1396
- И. А. Садов. Образование микропиле у овоцитов осетровых рыб 1400

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

Е. Н. Павловский и А. Н. Скрынник. К биологии клещей *Ornithodoros papillipes* 14

Указатель статей к тому 111

Систематический I—X
Алфавитный XI—X

CONTENTS

MATHEMATICS

Page

- E. A. Bredikhina. On the absolute convergence of Fourier series of almost periodic functions 11
M. G. Krein. On the theory of accelerants and S -matrices of canonical differential systems 11
O. B. Lupanov. On rectifier and contact rectifier circuits 11
S. A. Orlov. The structure of resolvents and spectral functions of unidimensional linear selfadjoint singular differential operators of order $2n$ 11
V. A. Pliss. An investigation of a linear differential equation of the third order 11
N. I. Polsky. On a general scheme in the application of approximate methods 11
M. K. Potapov. On Jackson type theorems in the L_p metric 11
V. I. Protasov. On a certain linear differential equation of infinite order 11

MECHANICS

- S. S. Vialov and N. A. Tsytoich. Estimation of the bearing capacity of cohesive grounds from the size of the impression produced by a spherical die 11

MATHEMATICAL PHYSICS

- Chr. J. Christov. An approximate expression of Green's function in the kinetic equation for neutrons 11

PHYSICS

- V. Z. Blank and D. V. Shirkov. Asymptotic investigations of the vertex portion in quantum electrodynamics 120
E. G. Gorzhevskaya and N. M. Panova. Photoproduction of slow negative pions on complex nuclei 120
L. N. Deriuguin and G. Kh. Friedman. Resonance curves of the double resonance on the reflection grating 120
V. I. Karpman and I. Z. Fisher. On the annihilation of positrons in metals 121
V. S. Komelkov and D. S. Parfenov. Widening of the spark channel in the air with currents of about $2 \cdot 10^6$ amperes 121
Yu. L. Sokolov, M. M. Sulkovskaya, E. A. Albitskaya and E. I. Karpushkina. Energy levels of Li^6 121
Yu. M. Shirokov. On the conditions for the relativistic invariance of the quantum theory 122
E. W. Shpolsky and L. A. Klimova. The emission spectrum of coronene in solutions at low temperatures 122

GEOPHYSICS

- A. G. Kalashnikov. On the magnetization of prisms in an open circuit and a closed circuit 123

TECHNICAL PHYSICS

- B. J. Pines and E. F. Chaikovsky. X-ray estimation of heterodiffusion coefficients in alloys forming solid substitution solutions 123
Yu. I. Ukhonov. The impulse method in studying the photoelectric properties of the p - n transition in germanium 123

CHEMISTRY

- V. S. Abramov and A. S. Kapustina. Ethers of α -oxy- β -chlorisopropylphosphinic acid and 1,2-epoxy-2-propylphosphinic acid 124
M. M. Azanovskaya and V. I. Pansevich-Koliada. The action of acetyl hydroperoxide on alkylfuryl alcohols 124
Yu. A. Arbuzov and B. L. Diatkin. The diene synthesis with chloromethylvinylketone 124
L. A. Igonin, E. G. Ginzberg, N. A. Krasulina and V. A. Kargin. On the kinetics of phenol-formaldehyde resin solidification with the aid of hexamethylene-tetramine 125
M. O. Korshun, N. E. Gelman and K. I. Glazova. A simultaneous microdetermination of fluorine, carbon and hydrogen in elementogranic compounds 125

V. A. Kropachev, B. A. Dolgoplosk and K. V. Danilovich. The isomerization of organometallic compounds of the allyl type	1257
N. S. Nametkin, A. V. Topchiev and T. I. Chernysheva. The synthesis of some silicon compounds with cyclo-alkyl radicals	1260
G. A. Razuvayev, Yu. A. Sorokin and G. A. Domrachev. The photoreaction of organochromic compounds	1264

PHYSICAL CHEMISTRY

B. V. Derjaguin, S. K. Zherebkov and A. M. Medvedeva. On the mechanism of adhesion and autohesion in rubbers	1267
L. I. Ivanov and M. P. Matveyeva. On the variation of the partial values of thermodynamic quantities for iron in solid iron — chromium alloys.	1271
N. P. Keier. Adsorption regularities as influenced by the interaction between acetylene molecules adsorbed on nitrous oxide	1274
P. Rehbindler, V. I. Lichtman and L. A. Kotschanova. Adsorption effect of strength reduction in the metal single crystals and spontaneous dispersion in a liquid medium	1278
E. Ruckenstein and O. Smigelski. On the problem of activity coefficients for binary mixtures of non-electrolytes	1282
N. M. Emanuel. The stimulation of branched chain reactions by the action of penetrating radiations in the initial period of the process	1286

BIOCHEMISTRY

K. F. Rodionova, L. E. Sterenberg and N. G. Gribkova. A contribution to the description of luminescence properties of coals of different sorts . .	1290
--	------

BIOCHEMISTRY

A. G. Pasynsky and V. P. Blokhina. Oxidation of ascorbic acid under conditions of continuous flow	1293
A. S. Spirin, A. N. Belozersky and A. Pretel-Martines. Comparative studies on the composition of the nucleic acids in the different age cultures of <i>Bacterium coli</i>	1297
D. T. Tsonev. A contribution to the problem as to the amino acid composition of certain cabbage varieties	1300

GEOLOGY

V. K. Golubtsov. On the problem of the lower boundary and volume of the Tula horizon of the Lower Carboniferous in the Pripiat downwarping	1305
G. A. Dmitriev. On the cleavage symmetry of Inta-coals	1308
A. D. Kalenov. On pre-pegmatite greisens	1311
N. N. Karlov. New data on the volcanic ashes of Dnepropetrovsk connected with the genesis of loess	1314
I. A. Koniukhov and G. N. Komardinkina. A contribution to the problem of the regional lithology of Upper Jurassic carbonate deposits of the North-Eastern Caucasus	1318

HYDROGEOLOGY

V. N. Kortsenstein. Some aspects of the formation of ground waters within the Maikopian horizons of the Central and North-Western Cis-Caucasia	1322
N. D. Starikova. The accumulation and distribution of sediments in certain water-reservoirs of the Moscow canal	1326

PETROGRAPHY

E. N. Janov. A contribution to the problem as to the origin of red and grey colouration in sedimentary rocks	1330
--	------

PALAEONTOLOGY

D. M. Rauser-Chernousova. On the impossibility to qualify <i>Borelis princeps</i> Ehrenberg, 1854 as a species typical of the genus <i>Schwagerina</i> Moeller, 1877 . . .	1333
M. N. Chugaeva. New trilobite genera from the medium and Upper Ordovician of Southern Kazakhstan	1336

CYTOLOGY

V. Z. Brodsky. Amount of ribonucleic acid in nerve cells of different size . . .	1340
I. I. Kiknadze. The dynamic of desoxiribonucleic acid in the course of egg development in invertebrates	1344

- L. B. Berlin. On alterations taking place in striated muscular bundles under the influence of nutrition of *Hyalomma asiaticum* P. Sch. et E. Schl. (Ixodiadae) 137

ECOLOGY

- T. V. Mikhailchenko. Heat resistance of ciliated epithelium and its variations in *Rana temporaria* L. 137

HYDROBIOLOGY

- A. E. Kriss. The amount of microbial population and biomass at different depths of seas and oceans 137

MICROBIOLOGY

- K. V. Kosikov, N. S. Helman and O. G. Raevskaya. Splitting of saccharose with maltase in yeast cells 137

- K. Iv. Markov and G. K. Saev. Alterations in the electrokinetic potential of *Staphylococci* in the course of their adaptation to penicillin 137

PLANT ANATOMY

- L. I. Vigorov. Formation of aleurone grains in wheat caryopsis 137

PLANT ECOLOGY

- E. A. Doroganevskaya. On the resistance of plant catalase to rise of temperature 137

PLANT PHYSIOLOGY

- M. G. Nikolaeva. On the question as to the rôle played by organic acids in the germination of resting seeds 137

- S. I. Pashkar. Age variations in the content of phenol compounds and their distribution among the organs of a potato plant 137

PHYSIOLOGY

- Z. I. Biriukova. On conditioned respiratory reflexes in man 137

- A. G. Ginetsinsky and V. F. Vasilieva. The efferent innervation of renal tubules 138

- O. G. Karandeyeva and M. A. Abrikosova. Oxygen consumption by sea-invertebrates under definite conditions 138

- E. A. Skvirskaya. On the rôle played by additional stimuli in the development of histopathological changes in animals subjected to anaerobic infection . . . 138

- T. N. Sollertinskaya. Changes observed in the conditioned reflectory activity of rabbits upon extirpation of upper jugular sympathetic ganglia 139

EMBRYOLOGY

- G. V. Orlovskaya, A. L. Zaydes and A. A. Tustanovsky. Collagen formation in the course of embryogenesis 139

- I. A. Sadov. Micropyle formation in oocytes of *Acipenseridae* 140

PARASITOLOGY

- E. N. Pavlovsky and A. N. Skrynnik. On the biology of *Ornithodoros papillipes* ticks 140

Е. А. БРЕДИХИНА

ОБ АБСОЛЮТНОЙ СХОДИМОСТИ РЯДОВ ФУРЬЕ
ПОЧТИ-ПЕРИОДИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 16 VII 1956)

1. Пусть $f(x)$ — ограниченная 2π -периодическая функция, имеющая лакунарный ряд Фурье

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos n_k x + b_k \sin n_k x, \quad \frac{n_{k+1}}{n_k} \geq \theta > 1. \quad (1)$$

Теорема Сидона ⁽¹⁾ утверждает, что ряд (1) абсолютно сходится. С. Б. Стечкин ⁽²⁾ отметил, что фактически Сидоном установлено неравенство

$$\sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \leq C_3(\theta) \max_x |f(x)|, \quad (2)$$

где $C_3(\theta)$ — постоянная, зависящая только от θ . В этой заметке дается обобщение теоремы Сидона на лакунарные ряды Фурье почти-периодических функций.

2. Теорема 1. Ряд Фурье $\sum_{k=-\infty}^{\infty} A_{\lambda_k} e^{i\lambda_k x}$ ($k \neq 0$; $\lambda_{-k} = -\lambda_k$; $\lambda_k > 0$, $\lambda_{k+1} > \lambda_k$ при $k > 0$; $\lambda_k \rightarrow \infty$ при $k \rightarrow \infty$) почти-периодической функции $f(x)$ сходится абсолютно, если $\lambda_{k+1}/\lambda_k \geq \theta > 1$ ($k = 1, 2, \dots$); при этом

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} |A_{\lambda_k}| \leq C(\theta) \sup_x |f(x)|, \quad (2^*)$$

где $C(\theta)$ — постоянная, зависящая только от θ .

Доказательству теоремы предположим две леммы.

Лемма 1. Пусть $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ вещественны и положительны, $\lambda_{k+1}/\lambda_k \geq \theta > 1$ ($k = 1, 2, \dots, N-1$); $\lambda_{-k} = -\lambda_k$; $c_k = a_k + ib_k$ ($k = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm N$) — любые комплексные числа; тогда

$$\sum_{k=-N}^N |c_k| \leq C(\theta) \sup_x \left| \sum_{k=-N}^N c_k e^{i\lambda_k x} \right|.$$

Доказательство. Задав $\varepsilon > 0$, фиксируем натуральное число q и положительное t_0 , удовлетворяющие неравенствам

$$q > \frac{2\pi \sum_{k=1}^N |a_k| + |b_k| + |a_{-k}| + |b_{-k}|}{\varepsilon}, \quad (3)$$

$$t_0 > \frac{\theta + 3}{\lambda_1(\theta - 1)}. \quad (4)$$

На основании теоремы Дирихле ((³), стр. 180) найдем $t \geq t_0$ и натуральные числа n_1, n_2, \dots, n_N такие, что

$$|\lambda_k t - n_k| \leq \frac{1}{q} \quad (k = 1, 2, \dots, N). \quad (5)$$

Из (5) и (3) следует, что при $y \in [0, 2\pi]$

$$\left| \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=-N}^N c_k e^{i\lambda_k t y} \right\} \right| \geq \left| \sum_{k=1}^N (a_k + a_{-k}) \cos n_k y + (b_{-k} - b_k) \sin n_k y \right| - \varepsilon, \quad (6)$$

$$\left| \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=-N}^N c_k e^{i\lambda_k t y} \right\} \right| \geq \left| \sum_{k=1}^N (b_k + b_{-k}) \cos n_k y + (a_k - a_{-k}) \sin n_k y \right| - \varepsilon. \quad (7)$$

Вследствие (5) и (4) $\frac{n_{k+1}}{n_k} > \theta_1 = \frac{\theta+1}{2}$ ($k = 1, 2, \dots, N-1$); применяя неравенство (2), получим:

$$\begin{aligned} \max_y \left| \sum_{k=1}^N (a_k + a_{-k}) \cos n_k y + (b_{-k} - b_k) \sin n_k y \right| &\geq \\ &\geq \frac{1}{C_0(\theta_1)} \sum_{k=1}^N |a_k + a_{-k}| + |b_{-k} - b_k|, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \max_y \left| \sum_{k=1}^N (b_k + b_{-k}) \cos n_k y + (a_k - a_{-k}) \sin n_k y \right| &\geq \\ &\geq \frac{1}{C_0(\theta_1)} \sum_{k=1}^N |b_k + b_{-k}| + |a_k - a_{-k}|, \end{aligned} \quad (9)$$

где $C_0(\theta_1) = \sqrt{2} C_3(\theta_1)$.

Из (6) и (8), в силу произвольности ε , следует:

$$\sup_x \left| \sum_{k=-N}^N c_k e^{i\lambda_k x} \right| \geq \frac{1}{C_0(\theta)} \left\{ \sum_{a_k a_{-k} \geq 0} |a_k| + |a_{-k}| + \sum_{b_k b_{-k} \leq 0} |b_k| + |b_{-k}| \right\}; \quad (10)$$

аналогично из (7) и (9) следует:

$$\sup_x \left| \sum_{k=-N}^N c_k e^{i\lambda_k x} \right| \geq \frac{1}{C_0(\theta)} \left\{ \sum_{a_k a_{-k} < 0} |a_k| + |a_{-k}| + \sum_{b_k b_{-k} > 0} |b_k| + |b_{-k}| \right\}. \quad (11)$$

Из (10) и (11) получим

$$\sum_{k=-N}^N |c_k| \leq C(\theta) \sup_x \left| \sum_{k=-N}^N c_k e^{i\lambda_k x} \right|,$$

где $C(\theta) = 2\sqrt{2} C_3\left(\frac{\theta+1}{2}\right)$.

Лемма 2. Если ряд $\sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{i\lambda_k x}$ ($k \neq 0; \lambda_k > 0$ при $k \geq 1; \lambda_{-k} = -\lambda_k$) сходится равномерно и при $k \geq 1$ $\lambda_{k+1}/\lambda_k \geq \theta > 1$ (или $\lambda_k/\lambda_{k+1} \geq \theta > 1$), то этот ряд сходится абсолютно; при этом

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k| \leq C(\theta) \sup_x \left| \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{i\lambda_k x} \right|. \quad (12)$$

Доказательство. Найдется M такое, что при всех n

$$\sum_{k=-n}^n c_k e^{i\lambda_k x} < M. \text{ Ряд } \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k| \text{ сходится, так как в силу леммы 1}$$

$$\sum_{k=-n}^n |c_k| \leq C(\theta) M.$$

Задав $\varepsilon > 0$, выберем n такое, чтобы выполнялись неравенства

$$\sup_x \left| \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{i\lambda_k x} \right| > \sup_x \left| \sum_{k=-n}^n c_k e^{i\lambda_k x} \right| - \varepsilon, \quad (13)$$

$$\sum_{k=-n}^n |c_k| > \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k| - \varepsilon. \quad (14)$$

Из (13), леммы 1 и (14) следует, что

$$\sup_x \left| \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{i\lambda_k x} \right| > \frac{1}{C(\theta)} \left\{ \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k| - \varepsilon \right\} - \varepsilon.$$

Переходя к пределу при $\varepsilon \rightarrow 0$, получим (12).

Доказательство теоремы 1. Лакунарный ряд Фурье почти-периодической функции сходится равномерно ((⁴), стр. 81). На основании леммы 2 он сходится абсолютно, и при этом имеет место неравенство (2*).

3. Следствием леммы 2 является также теорема об абсолютной сходимости рядов Фурье почти-периодических функций, показатели Фурье которых имеют единственную предельную точку на конечном расстоянии.

Теорема 2. Ряд Фурье

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} A_{\lambda_k} e^{i\lambda_k x} \quad (15)$$

$$(k \neq 0; \lambda_{-k} = -\lambda_k; \lambda_k > 0, \lambda_k > \lambda_{k+1} \text{ при } k > 0; \lambda_k \rightarrow 0 \text{ при } k \rightarrow \infty)$$

почти-периодической функции $f(x)$ сходится абсолютно если

$$\frac{\lambda_k}{\lambda_{k+1}} \geq \theta > 1 \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (16)$$

и существует постоянная C такая, что

$$\left| \int_0^u f(x+u) du \right| < C |u|^{1-\alpha} \quad (0 < \alpha \leq 1); \quad (17)$$

при этом

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} |A_{\lambda_k}| \leq C(\theta) \sup_x |f(x)|. \quad (2*)$$

Доказательство. Из (16) и (17) следует равномерная сходимость ряда (15) ((⁴), стр. 87).

На основании леммы 2 ряд (15) сходится абсолютно и имеет место неравенство (2*).

4. Лемма 2 настоящей заметки является усилением леммы 1 работы (⁵). Лемма 2 работы (⁵) также допускает некоторое усиление. Вследствие этого результаты (⁵), относящиеся к наилучшим приближениям почти-

периодических функций, представимых лакунарными рядами Фурье могут быть усилены следующим образом.

Пусть фиксирована последовательность частот $\{\lambda_k\}$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), $\lambda_0 = 0$; $\lambda_k > 0$, $\lambda_k < \lambda_{k+1}$ при $k \geq 1$; $\lambda_{-k} = -\lambda_k$; $\lambda_k \rightarrow \infty$ при $k \rightarrow \infty$. Будем считать, что почти-периодическая функция $f(x)$ принадлежит классу $\mathcal{L}\{\lambda_k\}$, если ее ряд Фурье имеет вид $\sum_{k=-\infty}^{\infty} A_{\lambda_{m_k}} e^{i\lambda_{m_k} x}$, где m_k — целые числа, $\lambda_{m_0} = \lambda_0$, $\lambda_{m_{-k}} = \lambda_{-m_k}$, $A_{\lambda_{m_0}} = 0$, $|A_{\lambda_{m_k}}| + |A_{\lambda_{m_{-k}}}| > 0$ при $k \neq 0$, $\arg A_{\lambda_{m_{-k}}} = -\arg A_{\lambda_{m_k}}$ и $\frac{\lambda_{m_{k+1}}}{\lambda_{m_k}} = q_k \geq \theta > 1$.

Положим
$$E_n(f) = \inf \left\{ \sup_x \left| f(x) - \sum_{k=-n}^n c_k e^{i\lambda_k x} \right| \right\},$$

$$R_n(f) = \sup_x \left| f(x) - \sum_{|m_k| \leq n} A_{\lambda_{m_k}} e^{i\lambda_{m_k} x} \right|, \quad \alpha_n(f) = \sum_{|m_k| > n} |A_{\lambda_{m_k}}|.$$

Теорема 3. Пусть $f(x) \in \mathcal{L}\{\lambda_k\}$; тогда имеет место порядковое равенство $E_n(f) \sim R_n(f) \sim \alpha_n(f)$.

Теорема 4. Пусть $f(x) \in \mathcal{L}\{\lambda_k\}$ и $q_k \rightarrow \infty$. Тогда имеет место асимптотическое равенство

$$E_n(f) \approx R_n(f) \approx \alpha_n(f).$$

Выражаю глубокую благодарность проф. И. П. Натансону за руководство работой.

Куйбышевский
Авиационный институт

Поступило
12 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Зигмунд, Тригонометрические ряды, М.—Л., 1939. ² С. Б. Стечкин, ДАН, 76, № 1 (1951). ³ Е. К. Титчмарш, Теория дзета-функции Римана, М., 1953. ⁴ Б. М. Левитан, Почти-периодические функции, М., 1953. ⁵ Е. А. Бредихина, ДАН, 103, № 5 (1955).

М. Г. КРЕЙН

К ТЕОРИИ АКСЕЛЕРАНТ И \mathcal{S} -МАТРИЦ КАНОНИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 19 VII 1956)

В нашем сообщении ⁽¹⁾ было указано, что проведенное там исследование допускает непосредственное обобщение на случай систем интегральных и дифференциальных уравнений. Это же в известной мере относится и к нашим последующим исследованиям ^(2, 3) по обратным задачам для дифференциальных операторов. Здесь будут приведены некоторые детали этих обобщений и одновременно некоторые положения, являющиеся новыми даже в скалярном случае.

1. В дальнейшем прописными буквами $A, D, \mathcal{G}, F, \dots$ будут обозначаться квадратные комплексные матрицы одного и того же порядка n (произвольно фиксированного), через $A^\tau, D^\tau, \mathcal{G}^\tau, F^\tau, \dots$ — соответствующие транспонированные матрицы.

Пусть $H(t)$ ($-2T < t < 2T$; $T \leq \infty$) — некоторая локально интегрируемая матрица-функция. Условимся ее называть симметричной акселерантой, если $H(t) = H^\tau(t) = H(-t)$ ($|t| < 2T$) и для любого a ($0 < a < 2T$) интегральное уравнение

$$X(t) + \int_0^a H(t-u) X(u) du = Y(t) \quad (0 \leq t \leq a) \quad (1)$$

имеет при $Y \equiv 0$ единственное непрерывное решение $X(t) \equiv 0$.

Рассматривая простоты ради случай непрерывной симметричной акселеранты H , обозначим через $\Gamma_a(t, s)$ ($0 \leq s, t \leq a$) непрерывное решение уравнения (1) при $Y(t) = H(t-s)$.

Как и в скалярном случае ⁽¹⁻³⁾, резольвента $\Gamma_a(t, s)$ будет обладать свойствами:

$$\frac{\partial \Gamma_a(t, s)}{\partial a} = -\Gamma_a(t, a) \Gamma_a(a, s), \quad \Gamma_a(t, s) = \Gamma_a^\tau(s, t) = \Gamma_a(a-t, a-s). \quad (2)$$

Положим для любого комплексного k :

$$\mathcal{G}(r; k) = e^{ikr} \left(I_n - \int_0^{2r} \Gamma_{2r}(0, s) e^{-iks} ds \right) \quad (0 \leq r < T; \mathcal{G}(0, k) = I_n). \quad (3)$$

С помощью (2) без труда находим

$$d\mathcal{G}(r; k) / dr = ik \mathcal{G}(r; k) - A(r) \mathcal{G}(r; -k), \quad (4)$$

где $A(r) = 2\Gamma_{2r}(0, 2r)$ — симметрическая матрица-функция.

Если положить

$$2\Phi_0(r; k) = \mathcal{G}(r; k) + \mathcal{G}(r; -k); \quad 2i\Psi_0(r; k) = \mathcal{G}(r; k) - \mathcal{G}(r; -k), \quad (5)$$

то функции Φ_0, Ψ_0 составят решение дифференциальной системы

$$d\Phi/dr = -k\Psi - A(r)\Phi, \quad d\Psi/dr = k\Phi + A(r)\Psi, \quad (6)$$

причем $\Phi_0(0; k) = I_n, \Psi_0(0; k) = 0$.

Исключая в уравнениях (6) функцию Φ , найдем, что Ψ_0 является также решением системы

$$d^2\Psi/dr^2 - V(r)\Psi + k^2\Psi = 0; \quad \Psi(0; k) = I_n, \quad \Psi'(0; k) = kI_n, \quad (7)$$

где $V(r) = A^2(r) - dA(r)/dr$ ($0 \leq r < T$) — некоторая симметрическая матрица-функция, элементы которой в общем случае суть обобщенные функции (класса первых производных от непрерывных функций).

Заметим, что если наперед задана функция $V(r)$ ($0 \leq r < T$) указанного класса и уравнение $\theta'' - V(r)\theta = 0$ имеет некоторое решение θ , для которого $\det \theta \neq 0$ ($0 \leq r < T$), то, полагая $A(r) = \theta'(r)\theta^{-1}(r)$ ($0 \leq r < T$), мы получим систему (6), порождающую систему (7).

Теорема 1. *Всякой непрерывной симметрической матрице-функции $A(r)$ ($0 \leq r < T$) отвечает всегда одна и только одна непрерывная симметричная акселеранта $H(t)$ ($-2T < t < 2T$), ее порождающая указанным выше способом.*

При этом, если функция $A(r)$ ($0 \leq r < T$) имеет k (≥ 0) непрерывных (абсолютно непрерывных) производных, то в этом и только этом случае функция $V(r)$ ($0 \leq r < 2T$) будет иметь k непрерывных (абсолютно непрерывных) производных.

2. Если в уравнении (4) заменить $A(r)$ на $-A(r)$, то его решением будет функция

$$D(r; k) = e^{ikr} \left(I_n + \int_0^{2r} L(2r, s) e^{-iks} ds \right),$$

$$L(r, s) = \Gamma_r(0, s) + 2 \int_s^r \Gamma_r(0, u) H(u - s) ds. \quad (8)$$

Поэтому функции

$$\Phi_1(r; k) = -\frac{1}{2i} (D(r; k) - D(r; -k)), \quad \Psi_1(r; k) = \frac{1}{2} (D(r; k) + D(r; -k)) \quad (9)$$

составят второе решение системы (6), для которого уже $\Phi_1(0; k) = 0, \Psi_1(0; k) = I_n$. Стало быть, $\Psi_1(r; k)$ будет вторым решением дифференциального уравнения (7), причем $\Psi_1'(0; k) = I_n, \Psi_1''(0; k) = 0$.

Из (3) и (8) непосредственно следует, что в любой точке r ($0 < r < T$) при $\text{Im } k$, меньшем некоторой постоянной:

$$\mathcal{O}^{-1}(r; k) D(r; k) = 1 + 2 \int_0^\infty e^{-ikt} H_r(t) dt, \quad (10)$$

где $H_r(t) = H(t)$ ($0 \leq t \leq 2r$). При $H(t)$ вещественном будем иметь $H_r(t) \in \mathcal{L}_+^{(n)}$ и равенство (10) будет иметь место во всей полуплоскости $\text{Im } k \leq 0$.

Поясним, что через $\mathcal{L}_+^{(n)}$ (соответственно $\mathcal{L}^{(n)}$) обозначается класс всех матриц-функций n -го порядка, элементы которых принадлежат $L_1(0, \infty)$ (соответственно $L_1(-\infty, \infty)$).

3. В дальнейшем рассматриваются акселеранты H , определенные на всей оси ($T = \infty$). Условимся доопределять функцию $\Gamma_r(0, t)$ при $t > r$ как равную нулю.

Теорема 2. *Если $A(r) \in \mathcal{L}_+^{(n)}$, то почти для всех $t \in (0, \infty)$ будет иметь смысл матрица-функция*

$$\Gamma(t) = \Gamma_t(0, t) - \int_0^\infty \Gamma_\rho(0, \rho) \Gamma_\rho(0, \rho - t) d\rho,$$

при этом любой ее элемент будет пределом в метрике $L_1(0, \infty)$ соответствующего элемента матрицы-функции $\Gamma_r(0, t)$ при $r \rightarrow \infty$, так что $\Gamma(t) \in \mathfrak{L}_+^{(n)}$. Поэтому в нижней полуплоскости $\operatorname{Im} k \leq 0$ будет равномерно выполняться предельное соотношение:

$$\lim_{r \rightarrow \infty} e^{-ikr} \odot(r; k) = G(k) \quad (\operatorname{Im} k \leq 0), \quad (11)$$

где

$$G(k) = 1 - \int_0^\infty e^{-ikt} \Gamma(t) dt \quad (\operatorname{Im} k \leq 0). \quad (12)$$

Если, кроме того, $H(t) \in \mathfrak{L}^{(n)}$, то в этом (и только этом) случае будет выполняться условие $\det G(k) \neq 0$ ($\operatorname{Im} k \leq 0$), а вместе с ним и соотношения

$$I_n + 2 \int_0^\infty H(t) \cos kt dt = [G^\tau(-k) G(k)]^{-1} \quad (-\infty < k < \infty); \quad (13)$$

$$G^{-1}(k) = I_n + \int_0^\infty K(t) e^{-ikt} dt, \quad K(t) = H(t) - \int_0^\infty \Gamma(s) H(t+s) ds. \quad (14)$$

Если матрица-функция $A(r) \in \mathfrak{L}_+^{(n)}$ вещественна, то всегда $H(t) \in \mathfrak{L}^{(n)}$. Заметим, что из (13) следует

$$\det \left(I_n + 2 \int_0^\infty \cos kt H(t) dt \right) \neq 0 \quad (-\infty < k < \infty). \quad (15)$$

4. В силу (5) и (11):

$$\Psi_0(r; k) = \frac{1}{2i} [S(k) e^{ikr} - e^{-ikr}] G(-k) + o(1) \quad \text{при } r \rightarrow \infty, \quad (16)$$

где $S(k) = G(k) G^{-1}(-k)$. Учитывая, что, согласно (13), $G^\tau(-k) G(k) = G^\tau(k) G(-k)$, а также, что $\det G(-k) \neq 0$ при $\operatorname{Im} k \leq 0$, находим:

$$S(-k) = S^{-1}(k), \quad S(k) = S^\tau(k); \quad (17)$$

$$\arg \det S(+\infty) = \arg \det S(-\infty). \quad (18)$$

На основании известной теоремы Винера об абсолютно сходящихся интегралах Фурье можно утверждать о существовании матрицы-функции $F(t) \in \mathfrak{L}^{(n)}$ такой, что

$$S(k) = I_n + \int_{-\infty}^\infty e^{ikt} F(t) dt. \quad (19)$$

Из соотношения $G^{-1}(k) S(k) = G^{-1}(-k)$ согласно (14) и (19) следует

$$K(t) - \int_0^\infty K(s) F(s+t) ds = F(t) \quad (0 \leq t < \infty); \quad (20)$$

$$K(t) + \int_0^\infty K(s) F(s-t) ds = -F(-t) \quad (0 \leq t < \infty). \quad (21)$$

5. Пусть теперь $H(t) = H^\tau(t) = H(-t)$ — произвольная симметрическая четная вещественная матрица-функция с элементами из $L_1(-\infty, \infty)$. Нетрудно показать, что при выполнении условия (15)

функция $H(t)$ будет акселерантой. Более того, в совместной работе И. Ц. Гохберга и автора (ее основные результаты изложены в (4)) показано, что в этом случае интегральное уравнение

$$\Gamma(t) + \int_0^{\infty} \Gamma(s) H(s-t) ds = H(t) \quad (0 \leq t < \infty) \quad (22)$$

имеет в классе $\mathfrak{L}_+^{(n)}$ единственное решение $\Gamma(t)$ и, если $G(k)$ определить равенством (12), то будут иметь место соотношения (13) и (14). Так как при этом в силу вещественности $H(t)$ будет вещественным и $\Gamma(t)$, то для $S(k) = G(k) G^{-1}(-k)$ будем иметь: $S(-k) = \overline{S(k)}$ ($-\infty < k < \infty$), что вместе с (17) будет давать унитарность матрицы $S(k)$.

6. Пусть теперь $S(k) = S^{-1}(-k)$ ($-\infty < k < \infty$) — произвольная симметрическая унитарная матрица-функция, допускающая представление (19) с некоторой функцией $F(t) \in \mathfrak{L}^{(n)}$. Оказывается, матрица-функция $S(k)$ будет порождаться в указанном выше смысле некоторой акселерантой $H(t) \in \mathfrak{L}^{(n)}$ в том и только в том случае, когда: 1) выполняется условие (18) и 2) однородное уравнение, соответствующее уравнению (20), не имеет нетривиальных решений в классе $\mathfrak{L}_+^{(n)}$ (в скалярном случае $n=1$ второе условие можно отбросить, так как оно является следствием первого условия (18)). При выполнении указанных условий уравнение (20) будет иметь единственное решение $K(t)$ в классе $\mathfrak{L}_+^{(n)}$, которое одновременно в том же классе будет единственным решением уравнения (21), и по $K(t)$ акселеранта $H(t)$ найдется по формуле:

$$H(-t) = H(t) = \int_0^{\infty} K(t+s) K(s) ds \quad (0 \leq t < \infty). \quad (23)$$

7. Недавно В. А. Марченко (5) предложил новый важный метод восстановления скалярного * потенциала $V(r)$ по его S -функции. Этот метод требует решения интегрального уравнения (с параметром x ($0 \leq x < \infty$)), получающегося из уравнения (20) заменой нижнего предела в интеграле параметром x , а ядра $F(t+s)$ и правой части $F(t)$, соответственно, на $-F(-t-s)$ и $-F(-t)$.

В нашем методе необходимо решить только одно уравнение (при $x=0$) того же типа, что и у В. А. Марченко, и затем уравнение (1) с конечными переменными пределами при $Y(t) = H(t)$, из которых верхний является параметром.

За недостатком места здесь опускается сравнение полученного результата с интересным исследованием (6).

Одесский гидротехнический институт

Поступило
2 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Г. Крейн, ДАН, 97, № 1 (1954). ² М. Г. Крейн, ДАН, 105, № 3 (1955). ³ М. Г. Крейн, ДАН, 105, № 4 (1955). ⁴ И. Ц. Гохберг, М. Г. Крейн, Тр. III Всесоюзн. Матем. съезда, 2 (1956). ⁵ В. А. Марченко, ДАН, 104, № 5 (1955). ⁶ R. G. Newton, R. Jost, Nuovo Cimento, 1, № 4 (1955).

* На Всесоюзном совещании по функциональному анализу в Москве в январе 1956 г. З. С. Агранович и В. А. Марченко сделали сообщение, в котором часть результатов из (6) была обобщена на матричный случай.

О. Б. ЛУПАНОВ

О ВЕНТИЛЬНЫХ И КОНТАКТНО-ВЕНТИЛЬНЫХ СХЕМАХ

(Представлено академиком П. С. Александровым 21 VI 1956)

Одной из задач теории схем является синтез схем, реализующих некоторые функции и содержащих возможно меньшее число элементов. Во многих случаях построение различных «устройств» сводится к синтезу схем одного типа. Приведем несколько примеров.

1. Рассматриваются электрические схемы, построенные из вентилей (т. е. двухполюсных элементов, проводящих ток только в одном направлении) и имеющие два сорта полюсов: входные и выходные. Решается задача синтеза схем, реализующих данную матрицу полных проводимостей (от входов к выходам) с использованием возможно меньшего числа вентилей.

2. Заданы числа A_1, \dots, A_p . Требуется образовать суммы некоторых из них $S_i = \sum_{k=1}^{q_i} A_{j_k}$ ($j_k \neq j_l$, если $k \neq l$), затратив возможно меньшее число сложений (допускается запоминание промежуточных результатов).

Эти кибернетические задачи, а также ряд других (см. например, (1); (2), стр. 104) приводят к понятию вентильной схемы.

1°. Вентилем назовем двухполюсный ориентированный элемент, т. е. элемент, у которого имеется входной полюс a и выходной полюс b (обозначение \overrightarrow{ab}). Мы будем рассматривать схемы (3), построенные из вентилей (вентильные схемы). Несамопересекающийся путь $\overrightarrow{c_0 c_1}, \overrightarrow{c_1 c_2}, \dots, \overrightarrow{c_{n-1} c_n}$ назовем ориентированной цепью, c_0 — началом, c_n — концом цепи.

Каждой (упорядоченной) паре полюсов c, d вентильной схемы поставим в соответствие число (c, d) , равное 1, если $c = d$ или если существует ориентированная цепь с началом c и концом d , и равное 0 в противном случае.

2°. Рассмотрим один важный класс вентильных схем.

Определение. Вентильной (p, q) -схемой (или, короче, (p, q) -схемой) будем называть вентильную схему с $p + q$ полюсами $a_1, \dots, a_p, b_1, \dots, b_q$, если она удовлетворяет условиям:

1) $(a_{i_1}, a_{i_2}) = 0$; $i_1 \neq i_2$, $1 \leq i_1, i_2 \leq p$;

2) $(b_{j_1}, b_{j_2}) = 0$; $j_1 \neq j_2$, $1 \leq j_1, j_2 \leq q$;

3) $(b_j, a_i) = 0$; $1 \leq i \leq p$, $1 \leq j \leq q$.

Полюсы a_1, \dots, a_p будем называть входными; b_1, \dots, b_q — выходными полюсами (p, q) -схемы. Рангом (p, q) -схемы назовем длину максимальной ориентированной цепи, соединяющей входной полюс с выходным.

Каждой (p, q) -схеме S поставим в соответствие матрицу $A = \|\alpha_{ij}\|$; $1 \leq i \leq p$, $1 \leq j \leq q$, $\alpha_{ij} = (a_i, b_j)$. Будем говорить в этом случае, что (p, q) -схема S реализует матрицу A . Очевидно, что всякая матрица с p

строками и q столбцами (элементы 0 и 1) может быть реализована некоторой (p, q) -схемой.

Введем следующие функции: $B_r(A)$ — минимальное число вентилях вентильной схемы ранга не более r , реализующей матрицу A ; $B_r(p, q) = \max B_r(A)$ (максимум берется по всем матрицам с p строками и q столбцами); $B(A)$ — минимальное число вентилях в вентильной схеме реализующей матрицу A (ограничений на ранг не накладывается); $B(p, q)$ определяется аналогичным образом*.

Нетрудно заметить, что $B_r(A) = B_r(A')$ (A' — матрица, транспонированная к A), и, следовательно, $B_r(p, q) = B_r(q, p)$, $B(p, q) = B(q, p)$.

Кроме того, $B(p, q) \leq B_r(p, q)$.
Очевидно также, что $B_1(A)$ равно числу единиц в матрице A .
 $B_1(p, q) = pq$.

Лемма.

$$B_2(p, q) \leq p + q \cdot 2^{q-1}.$$

Доказательство. Строки произвольной матрицы (с p строками и q столбцами) разбиваются на группы одинаковых между собой. Число t этих групп, оче-

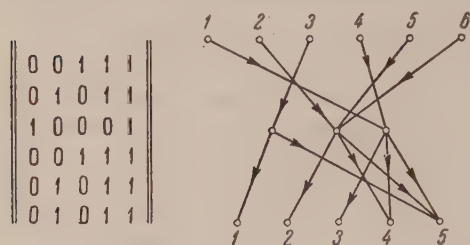


Рис. 1

видно, не превосходит 2^q . Пусть k -я группа содержит p_k строк номерами i_1, i_2, \dots, i_{p_k} . Если каждая строка в этой группе имеет q_k единиц (на местах j_1, j_2, \dots, j_{q_k}), то эта группа строк может быть реализована (p_k, q_k) -сетью ранга 2, состоящей из $p_k + q_k$ вентилях $a_{i_r c_k}$ ($r = 1, \dots, p_k$), $c_k b_{j_s}$ ($s = 1, \dots, q_k$), где c_k — вершина, отличная от a_i и от b_j (см. рис 1). Для реализации всей матрицы требуется

$$\sum_{k=1}^t p_k + \sum_{k=1}^t q_k \leq p + \sum_{l=0}^q \sum_{(q_k=l)} l \leq p + \sum_{l=0}^q C_q^l \cdot l = p + q \cdot 2^{q-1}$$

вентилей. На рис. 1 изображена матрица и реализующая ее схема.

Теорема 1. Пусть последовательность $(p_1, q_1), \dots, (p_n, q_n), \dots$ удовлетворяет условиям $p_n \rightarrow \infty$, $p_n \geq q_n$ и $\frac{\lg_2 p_n}{q_n} \rightarrow 0$.

Тогда

$$B_2(p_n, q_n) \sim \frac{p_n q_n}{\lg_2 p_n}.$$

Доказательство. 1) Оценка сверху (и метод синтеза). Реализуемая матрица разбивается на куски по $s_n = \lfloor \lg_2 p_n - 2 \lg_2 \lg_2 p_n \rfloor$ столбцов (один из кусков может содержать меньшее число столбцов). Для реализации каждого куска требуется (лемма) не более

$$p_n + s_n \cdot 2^{s_n-1} \leq p_n + \frac{p_n (\lg_2 p_n - 2 \lg_2 \lg_2 p_n)}{2 (\lg_2 p_n)^2} = p_n (1 + o(1))$$

вентилей. Таких кусков будет не более

$$\left\lceil \frac{q_n}{s_n} \right\rceil + 1 \leq \frac{q_n}{s_n} + 1 < \frac{q_n}{\lg_2 p_n - 2 \lg_2 \lg_2 p_n - 1} + 1 = \frac{q_n}{\lg_2 p_n} (1 + o(1)).$$

Всего будет затрачено не более $\frac{p_n q_n}{\lg_2 p_n} (1 + o(1))$ вентилях.

* Аналогичная функция впервые была введена Шенноном (4) для оценки числа контактов в контактных схемах, реализующих функции алгебры логики.

2) Оценка снизу, асимптотически равная оценке сверху, следует из того, что число минимальных (p, q) -схем, содержащих не более k вентиляй, не превосходит $C_1^k C_2^{p+q} (p+q)^k$.

З а м е ч а н и я. При условиях теоремы 1:

$$1) \frac{p_n q_n}{\lg_2 p_n + \lg_2 q_n} (1 + o(1)) < B(p_n, q_n) < \frac{p_n q_n}{\lg_2 p_n} (1 + o(1)).$$

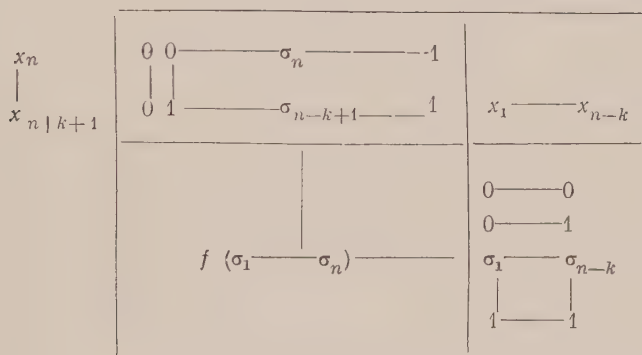
Первое неравенство следует из теоремы 2 в (3), второе из теоремы 1 (настоящая заметка).

2) Если, кроме того, $\frac{\lg_2 q_n}{\lg_2 p_n} \rightarrow 0$, то

$$B(p_n, q_n) \sim B_2(p_n, q_n) \sim \frac{p_n q_n}{\lg_2 p_n}.$$

3°. Укажем одно приложение вентиляных схем. Мы будем рассматривать схемы, построенные из контактов входных реле и вентиляй (т. е.

Т а б л и ц а 1



двухполюсных устройств, пропускающих ток только в одном направлении), реализующие функции алгебры логики как функции проводимости*.

Пусть $L_{\text{кв}}(n)$ — минимальное число контактов и вентиляй вместе, схемами из которых можно реализовать любую функцию алгебры логики n аргументов.

Теорема 2.

$$L_{\text{кв}}(n) \sim \frac{2^n}{n}.$$

Доказательство. 1) Оценка сверху. Всякую функцию алгебры логики n аргументов можно задать посредством таблицы T с двумя входами (6) (см. табл. 1). Схема строится (по таблице T) из двух контактных деревьев (4) от аргументов x_1, \dots, x_{n-k} и x_{n-k+1}, \dots, x_n и вентиляного многополюсника. Число входов этого многополюсника равно числу выходов первого дерева, число выходов — числу входов второго дерева, а матрица полных проводимостей совпадает с таблицей T (точнее,

* Схемы, построенные из контактов и вентиляй (а также сопротивлений) могут реализовать функции алгебры логики и иным образом — как функции напряжения (см., например, (7)).

с ее частью, содержащей значения функции). Полюсы многополюсника соединяются с соответствующими полюсами деревьев (рис. 2)*.

Положим $k = [2 \lg_2 n]$. Тогда число контактов в деревьях будет меньше, чем

$$2 \left(\frac{2^n}{2^{[2 \lg_2 n]}} + 2^{[2 \lg_2 n]} \right) \leq 2 \left(\frac{2 \cdot 2^n}{n^2} + n^2 \right) = \frac{4 \cdot 2^n}{n^2} (1 + o(1)).$$

Вентильный многополюсник будет иметь $p_n = 2^{n - [2 \lg_2 n]}$ входов и $q_n = 2^{[2 \lg_2 n]}$ выходов. Нетрудно убедиться в том, что условия теоремы 1 выполнены.

Поэтому можно построить вентильный (p_n, q_n) -полюсник, содержащий не более $\frac{p_n q_n}{\lg_2 p_n} (1 + o(1)) = \frac{2^n}{n} (1 + o(1))$ вентилях. Общее число контактов и вентилях в схеме также не превосходит $\frac{2^n}{n} (1 + o(1))$.

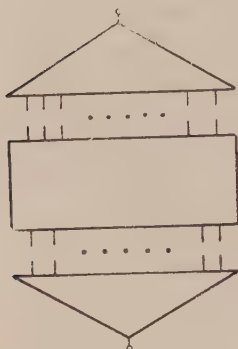


Рис. 2

2) Оценка снизу — см (3), пример 1°.

4°. Пусть $\tilde{L}(n)$ — минимальное число такое, что контактно-вентильными схемами, имеющими не более $\tilde{L}(n)$ контактов, можно реализовать любую функцию алгебры логики n аргументов как функцию проводимости.

Теорема 3. Для любого $\varepsilon > 0$ и $n > n(\varepsilon)$

$$\frac{1}{2} \cdot 2^{n/2} (1 - \varepsilon) < \tilde{L}(n) < 3 \sqrt{2} \cdot 2^{n/2}.$$

Доказательство. 1) Оценка сверху. В конструкции, использованной для доказательства теоремы 2, положим $k = [n/2]$.

2) Оценка снизу. Очевидно, что функции, реализуемые схемами, имеющими не более m контактов, можно реализовать схемами, имеющими ровно m контактов. Каждая такая схема получается из некоторого вентильного $(2m+2)$ -полюсника присоединением контактов между $(2i-1)$ -м и $2i$ -м полюсами ($i = 1, \dots, m$); полюсы полученной схемы суть $(2m+1)$ -й и $(2m+2)$ -й полюсы вентильного многополюсника. Нетрудно заметить, что если два вентильных многополюсника имеют одинаковые матрицы полных проводимостей, то множества функций, реализуемых полученными из каждого из них схемами, совпадают. Поэтому число функций, реализуемых схемами, имеющими не более m контактов, не превосходит

$$2^{(2m+2)(2m+1)} (2n)^m = n^m \cdot 2^{4m^2 + 7m + 2} = N_m.$$

Непосредственной проверкой можно убедиться в том, что при $m \leq$

$$\leq \frac{1}{2} \cdot 2^{n/2} - \frac{\lg_2 n + 7}{8} \quad N_m < 2^{2^n}.$$

Математический институт им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
15 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ P. Hertz, Math. Ann., **84**, 246 (1922). ² D. König, Theorie der endlichen und unendlichen Graphen, Leipzig, 1936. ³ О. Б. Лупанов, ДАН, **103**, № 4, 561 (1955). ⁴ С. Е. Shannon, BSTJ, **28**, 59 (1949). ⁵ М. А. Гаврилов, Автоматика и телемеханика, **16**, 328 (1955). ⁶ E. W. Veitch, Proc. Assoc. Comput. Mach., Pittsburgh, Pa, May 2—3, 127 (1952).

* Указанный подход к синтезу контактно-вентильных схем предложен Г. Н. Поваровым и С. В. Яблонским.

КОНСТРУКЦИЯ РЕЗОЛЬВЕНТ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ОДНОМЕРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ САМОСОПРЯЖЕННЫХ СИНГУЛЯРНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ $2n$ -го ПОРЯДКА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 19 VII 1956)

Сингулярная краевая задача, порождаемая линейным самосопряженным дифференциальным выражением ly $2n$ -го порядка, в последнее время рассматривалась многими авторами (см., например ⁽³⁻⁵⁾). Однако для того случая, когда индекс дефекта соответствующего минимального оператора L_0 есть (m, m) и $n < m < 2n$, не была исследована структура резольвенты и спектральной матрицы и не были даны какие-либо алгоритмы для эффективного построения резольвенты и спектральной матрицы по заданным граничным условиям. Кроме того, даже для случая дифференциального выражения 2 -го порядка при рассмотрении любых самосопряженных граничных условий (а не только штурмовых) не был изучен предельный переход от конечного интервала $[0, b]$ к полубесконечному интервалу $[0, \infty]$.

В настоящей работе мы даем описание всех самосопряженных граничных условий при любом заданном индексе дефекта $((m, m) (n < m < 2n))$ оператора L_0 и устанавливаем формулы для резольвент и спектральных матриц-функций, определенных этими граничными условиями. Одновременно изучается предельный переход от конечного интервала к полубесконечному. Мы будем пользоваться обозначениями и результатами заметок ^(1,2). В ⁽²⁾ нами было дано описание всех самосопряженных граничных условий краевых задач, порождаемых операцией ly на конечном интервале $(0, b]$, с помощью унитарных матриц v $2n$ -го порядка и были даны формулы для соответствующих резольвент и спектральных функций (см. теорему 4 в ⁽²⁾).

Граничные условия записывались в следующей форме:

$$Z_1(v, b) J \eta^*(y; 0) = Z_2(v, b) T(b, \lambda_0) J \eta^*(y; b), \quad (1)$$

$$Z_1(v, b) = \frac{-iJ + \Omega(v, b)}{2}, \quad Z_2(v, b) = \frac{iJ + \Omega(v, b)}{2}, \quad (2)$$

$$\Omega(v, b) = \frac{-1}{\lambda_0 - \bar{\lambda}_0} [\Gamma_b^{-1}(\lambda_0) + \Gamma_b^{-1}(\bar{\lambda}_0) + 2\Gamma_b^{-1/2}(\bar{\lambda}_0) v \Gamma_b^{-1/2}(\lambda_0)], \quad (3)$$

$$\Gamma_b(\lambda) = \left\| \int_0^b \varphi_j(x, \lambda) \bar{\varphi}_k(x, \lambda) dx \right\|_{j, k=1}^{2n} = \frac{i}{\lambda - \bar{\lambda}} (J - T(b, \lambda) J T^*(b, \lambda)); \quad (4)$$

$\Phi(x, \lambda) = (\varphi_1(x, \lambda), \dots, \varphi_{2n}(x, \lambda))$ — вектор-функция, координаты которой $\varphi_k(x, \lambda)$ ($k = 1, 2, \dots, 2n$) суть решения уравнения $ly - \lambda y = 0$; $T(x, \lambda)$ — матрица Вронского этих решений; $T(0, \lambda) = I_{2n}$; $\eta(y; x)$ — вектор-функция, координаты которой суть квази-производные функции $y(x)$.

Резольвента краевой задачи, порождаемой граничными условиями (1), определяется формулой

$$R_v^{(b)}(x, s, \lambda) = \begin{cases} \Phi(s, \lambda) \frac{-iJ + \Omega(\lambda, v, b)}{2} \Phi'(x, \lambda), & 0 \leq x < s \leq b; \\ \Phi(s, \lambda) \frac{iJ + \Omega(\lambda, v, b)}{2} \Phi'(x, \lambda), & 0 \leq s \leq x \leq b, \end{cases} \quad (5)$$

где

$$\frac{iJ + \Omega(\lambda, v, b)}{2} = Z_1^*(v, b) \left[I_{2n} - (\lambda - \bar{\lambda}_0) \left\| \int_0^b \varphi_f(x, \lambda) \bar{\varphi}_k(x, \lambda_0) dx \right\| Z_2^*(v, b) \right]^{-1}. \quad (6)$$

В эти формулы входит в качестве параметра произвольная унитарная матрица v $2n$ -го порядка. Совокупность матриц-функций $\Omega(\lambda, v, b)$ названа нами классом $N_1(b)$, и было показано, что каждая функция этого класса допускает в каждой точке λ представление типа (3). Соотношение (3) при фиксированных λ и b можно рассматривать как уравнение матричной окружности, в котором роль параметра играет произвольная унитарная матрица v $2n$ -го порядка. Однако этот круг не является аналогом вейлевского круга; для дифференциальных операторов 2-го порядка этот круг матричный, и он иного поведения.

Теорема 1. Семейство всех классов $N_T(b)$ ($0 < b < \infty$) нормальны в области $\text{Im } \lambda \neq 0$, и каждая предельная матрица-функция $\Omega(\lambda)$ допускает в каждой точке λ_0 ($\text{Im } \lambda_0 \neq 0$) представление

$$\Omega(\lambda_0) = \frac{-1}{\lambda_0 - \bar{\lambda}_0} [\Gamma(\lambda_0) + \Gamma(\bar{\lambda}_0) + 2\Gamma^{1/2}(\bar{\lambda}_0) v \Gamma^{1/2}(\lambda_0)]; \quad \Gamma(\lambda) = \lim_{b \rightarrow \infty} \Gamma_b^{-1}(\lambda). \quad (3')$$

При этом, когда унитарная матрица v $2n$ -го порядка пробегает множество всех унитарных матриц, то матрицы (3') пробегают множество значений всех предельных матриц-функций $N_T(\infty)$ в точке λ_0 .

Нами было установлено (см. (1), теорема 1), что индекс дефекта оператора L_0 равен рангу матрицы $\Gamma(\lambda)$. Если индекс дефекта оператора L_0 есть (m, m) и $m < 2n$, то

$$\Gamma(\lambda_0) = u(\lambda_0) \left\| \begin{matrix} D_m(\lambda_0) & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\| u^*(\lambda_0); \quad D_m(\lambda_0) > 0; \quad u(\lambda_0) u^*(\lambda_0) = I_{2n}. \quad (7)$$

Полагая

$$v = u(\bar{\lambda}_0) w u^*(\bar{\lambda}_0) = u(\bar{\lambda}_0) \left\| \begin{matrix} w_m & w_{mk} \\ w_{km} & w_{kk} \end{matrix} \right\| u^*(\lambda_0); \quad w w^* = I_{2n}, \quad (8)$$

получим

$$\begin{aligned} \Omega(\lambda_0, v) &= \Omega(\lambda_0 w_m) = \\ &= \frac{-1}{\lambda_0 - \bar{\lambda}_0} [\Gamma(\lambda_0) + \Gamma(\bar{\lambda}_0) + u(\bar{\lambda}_0) \left\| \begin{matrix} D_m^{1/2}(\lambda_0) w_m D_m^{1/2}(\lambda_0) & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\| u^*(\lambda_0)]. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, (9) является уравнением предельного круга в точке λ_0 . Элемент $\Omega(\lambda_0, v)$ предельного круга задается квадратной матрицей w_m m -го порядка, являющейся клеткой унитарной матрицы w $2n$ -го порядка.

Из нормальности семейства $N_T(b)$ ($0 < b < \infty$) вытекает с помощью формулы (5) нормальность семейства ядер $R_v^{(b)}(x, s, \lambda)$. Предельные ядра назовем предельными резольвентами. Формула (5) устанавливает взаимно-однозначное соответствие между предельными резольвентами и предельными матрицами-функциями класса $N_T(\infty)$.

Теорема 2. Если $m < 2n$, то всякая предельная резольвента $R(x, s, \lambda) = \lim_{b \rightarrow \infty} R_v^{(b)}(x, s, \lambda)$ принадлежит к типу ядер Карлемана

и определяет интегральный оператор, являющийся, вообще говоря, обобщенной резольвентой (в смысле М. А. Неймарка) минимального оператора L_0 . Для того чтобы предельная резольвента была ортогональной, необходимо, чтобы при всех λ ($\text{Im } \lambda \neq 0$), и достаточно, чтобы хотя бы при одном λ_0 , ядра $R_v^{(b)}(x, s, \lambda)$ сходились к ядру $R(x, s, \lambda)$ не только точечно, но и в среднем квадратичном.

Теорема 3. Для того чтобы предельная резольвента $R(x, s, \lambda)$, определяемая матрицей $\Omega(\lambda)$ класса $N_T(\infty)$, была ортогональной, необ-

одимо, чтобы при всех λ ($\text{Im } \lambda \neq 0$), и достаточно, чтобы хотя бы при одном λ_0 в представлении (9) матрицы $\Omega(\lambda)$ была унитарной матрица w_m .

Пусть в представлении (8) унитарной матрицы v $2n$ -го порядка матрица w_m будет произвольной фиксированной унитарной матрицей m -го порядка. Рассмотрим семейство аналитических матриц-функций $\Omega(\lambda, v, b) = \Omega(\lambda, w_m, b)$ ($0 < b < \infty$). Положим $\Omega(\lambda_0, w_m) = \Omega(w_m) = \lim_{b \rightarrow \infty} \Omega(\lambda_0, w_m, b)$; $Z_k(w_m) = \lim_{b \rightarrow \infty} Z_k(\lambda_0, w_m, b)$ ($k = 1, 2$).

Теорема 4. Каждой унитарной матрице w_m m -го порядка отвечает сходящееся семейство аналитических матриц-функций $\Omega(\lambda, w_m, b)$. Предельная матрица-функция $\Omega(\lambda, w_m) = \lim_{b \rightarrow \infty} \Omega(\lambda, w_m, b)$ определяет по формуле (5) ортогональную резольвенту краевой задачи, порождаемой m граничными условиями вида

$$Z_1(w_m) J \eta^*(y; 0) = \lim_{b \rightarrow \infty} Z_2(w_m) T(b, \lambda_0) J \eta^*(y; b), \quad (10)$$

Этим резольвентами исчерпываются все ортогональные резольвенты минимального оператора L_0 .

Теорема 5. Каждой квадратной матрице w_m m -го порядка, являющейся неунитарной клеткой матрицы w $2n$ -го порядка, отвечает нормальное семейство матриц-функций $\Omega(\lambda, w_m, b)$ ($0 < b < \infty$), сходящееся в точке $\lambda = \lambda_0$ к матрице (9). Каждая предельная матрица-функция этого семейства определяет по формуле (5) неортогональную резольвенту.

Теорема 6. Следующие предложения равносильны:

1) Среди m граничных условий (10) точно $q = 2n - r$ ($n \leq r \leq m$) условий относятся к левому концу интервала.

2) Резольвента $R(x, s, \lambda)$ есть r -парное ядро.

3) Матрица $\text{Im } \Omega(\lambda)$ имеет ранг r .

Теорема 7. Если $m = n$, то каждой эрмитовой матрице A_n n -го порядка отвечает краевая задача, порождаемая n граничными условиями:

$$\|\sin A_n \cos A_n\| \eta^*(y; 0) = 0, \quad (11)$$

резольвента которой определяется формулой (5), где

$$\Omega(\lambda, A_n) = u \begin{vmatrix} \Omega_n(\lambda, A_n) - I_n & \\ & D_n \end{vmatrix} u^*; \quad u = \begin{vmatrix} \cos A_n & -\sin A_n \\ \sin A_n & \cos A_n \end{vmatrix}; \quad (12)$$

$$\frac{\Omega_n(\lambda, A_n)}{2} = \lim_{b \rightarrow \infty} \left(\left\| \int_0^b \psi_j(x, \lambda) \bar{\psi}_k(x, \lambda) dx \right\|_{j, k=1}^n \right)^{-1} \left\| \int_0^b \psi_j(x, \bar{\lambda}) \bar{\psi}_{n+k}(x, \bar{\lambda}) dx \right\|_{j, k=1}^n \quad (13)$$

$$(\psi_1(x, \lambda), \dots, \psi_{2n}(x, \lambda))' = u (\varphi_1(x, \lambda), \dots, \varphi_{2n}(x, \lambda))'.$$

Этим резольвентами исчерпываются все ортогональные резольвенты минимального оператора L_0 .

Заметим еще, что если $m = 2n$, то все предельные резольвенты ортогональны, соответствующие семейства $\Omega(\lambda, v, b)$ ($0 < b < \infty$) при фиксированном v сходящиеся. В этом случае предельная матрица определяется формулой (6), куда вместо b следует подставить ∞ . Наконец, отметим, что с матрицами $\Omega(\lambda)$ класса $N_T(\infty)$ однозначно связаны формулой обращения спектральные матрицы $\sigma(t)$, дающие интегральное разложение резольвенты и порождающие собщенное преобразование Фурье ⁽³⁾.

Одесский государственный
педагогический институт
им. К. Д. Ушинского

Поступило
19 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. А. Орлов, ДАН, **92**, № 3 (1953). ² С. А. Орлов, ДАН, **111**, № 3 (1956).
³ М. Г. Крейн, ДАН, **64**, № 1 (1950). ⁴ И. М. Глазман, Усп. матем. наук, **5**, в. 6 (40) (1950). ⁵ К. Kodairo, Am. J. Math., **22**, № 3, 502 (1950).

В. А. ПЛИСС

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОГО НЕЛИНЕЙНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

(Представлено академиком В. И. Смирновым 16 VII 1956)

Известно (¹, ¹⁰), что система двух дифференциальных уравнений типа Айзермана (²) не имеет периодических решений. Многие авторы (⁴⁻⁷) изучали систему трех уравнений типа Айзермана, но все эти системы были такими, что периодические решения также отсутствовали.

В настоящей работе изучается качественная картина поведения решений нелинейного уравнения третьего порядка частного вида, нелинейность которого подчинена обобщенному условию Гурвица, и, в частности, показывается, что при некоторых специальных видах нелинейности могут появляться периодические движения.

Рассмотрим нелинейное дифференциальное уравнение третьего порядка

$$\frac{d^3\xi}{dt^3} + f\left(\frac{d^2\xi}{dt^2}\right) + \frac{d\xi}{dt} + \xi = 0. \quad (1)$$

Функция $f(\eta)$ непрерывна и удовлетворяет условию Липшица при всех вещественных η . Кроме того, будем предполагать, что функция $f(\eta)$ удовлетворяет обобщенному условию Гурвица

$$f(0) = 0; \quad \eta f(\eta) > \eta^2 \quad \text{при } \eta \neq 0. \quad (2)$$

Уравнение (1) эквивалентно системе трех уравнений

$$\frac{dx}{dt} = y - f(x), \quad \frac{dy}{dt} = z - x, \quad \frac{dz}{dt} = -x. \quad (3)$$

Будем через $\varphi(p, t)$ обозначать ту траекторию системы (3), которая при $t = 0$ проходит через точку p фазового пространства.

Пользуясь качественными методами исследования, можно доказать следующие теоремы.

Теорема 1. Любая траектория системы (3), целиком лежащая в одном из полупространств $x > 0$ или $x < 0$, стремится при $t \rightarrow +\infty$ к точке $x = y = z = 0$.

Теорема 2. Пусть точка p лежит в плоскости $x = 0$. Тогда траектория $\varphi(p, t)$ системы (3) при $t > 0$ пересекает плоскость $x = 0$.

Теорема 3. Пусть точка p отличная от точки $x = y = z = 0$, лежит в плоскости $x = 0$, и пусть $t_1 > 0$ — первый после $t = 0$ момент пересечения траектории $\varphi(p, t)$ с плоскостью $x = 0$, а $t_2 > t_1$ — первый после t_1 момент пересечения $\varphi(p, t)$ с плоскостью $x = 0$. Тогда возможны лишь два случая:

1. Либо

$$y(\varphi(p, t_1)) > 0, \quad z(\varphi(p, t_1)) > 0,$$

и тогда

$$y(\varphi(p, t_2)) < 0, \quad z(\varphi(p, t_2)) < 0.$$

$$y(\varphi(p, t_1)) < 0, \quad z(\varphi(p, t_1)) < 0,$$

и тогда

$$y(\varphi(p, t_2)) > 0, \quad z(\varphi(p, t_2)) > 0.$$

Теорема 4. Если $f(x)$ голоморфна в окрестности точки $x = 0$, то в каждом из полупространств $x > 0$ и $x < 0$ существует одна и только одна траектория системы (3), целиком лежащая в этом полупространстве (и по теореме 1 примыкающая к началу координат).

А. П. Тузов доказал ⁽⁵⁾, что при условии (2) тривиальное решение $x=y=z=0$ системы (3) асимптотически устойчиво в смысле Ляпунова. Поэтому существует область устойчивости тривиального решения системы (3).

Теорема 5. Область устойчивости тривиального решения системы (3) неограничена.

Как будет показано далее на примере, тривиальное решение системы (3) не всегда устойчиво в целом, однако можно указать такие $f(x)$, при которых устойчивость в целом имеет место. Именно, справедливо следующее утверждение:

Теорема 6. Если существует производная df/dx и если $df/dx > 1$ при всех x , то тривиальное решение системы (3) устойчиво в целом.

Для доказательства этой теоремы строится определенно-положительная функция координат фазового пространства

$$v = -2 \int_0^x f(x) dx + f^2(x) - 2y f(x) + x^2 + y^2 + z^2 + 2xy - 2xz, \quad (4)$$

производная от которой по времени является функцией отрицательной:

$$\dot{v} = -2(f'(x) - 1)(y - f(x))^2. \quad (5)$$

Функция v не при всяких $f(x)$ оказывается бесконечно большой ⁽⁸⁾, однако, используя результаты работы ⁽⁹⁾, удастся доказать теорему.

В случае системы двух уравнений типа Айзермана решение вопроса об устойчивости в целом не зависит от поведения нелинейной функции на ограниченной части вещественной оси ^(5, 10, 11).

В связи с этим возникает вопрос о поведении траектории системы (3) в случае, если условие теоремы 6 выполнено лишь при достаточно больших $|x|$. Можно доказать следующие утверждения.

Рассмотрим траекторию $\varphi(p, t)$ системы (3). Пусть ее начальная точка p имеет координаты $x = 0, y = y_0, z = z_0$. Пусть $0 < t_1 < t_2$ — последовательные моменты пересечения траектории $\varphi(p, t)$ с плоскостью $x = 0$. Моменты t_1 и t_2 существуют согласно теореме 2.

Теорема 7. Если существуют такие числа $\varepsilon > 0$ и $x_0 \geq 0$, что при $|x| \geq x_0$ $f'(x) - 1 > \varepsilon$, то найдется такое R , что при $y_0^2 + z_0^2 \geq R^2$ на траектории $\varphi(p, t)$ выполняется

$$y^2(t_2) + z^2(t_2) < y_0^2 + z_0^2 \quad (6)$$

и при $y_0^2 + z_0^2 < R^2$ для $\varphi(p, t)$ оказывается

$$y^2(t_1) + z^2(t_1) < R^2. \quad (7)$$

Пусть теперь P — область фазового пространства, определяемая условиями $\{x = 0, y^2 + z^2 < R, y > 0, z > 0\}$, где R — число, фигурирующее в формулировке теоремы 7.

Теорема 8. Если выполнено условие теоремы 7, то любая траектория системы (3), не примыкающая к началу координат, пересекает область P .

Рассмотрим периодическое движение системы (3). Как следует из теоремы 8, его траектория пересекает область P . Назовем периодическое решение системы (3) регулярным, если его траектория имеет только одну общую точку с областью P . Опираясь на топологическую теорему Брауэра ⁽¹²⁾, можно доказать следующее утверждение.

Т е о р е м а 9. Если существуют такие $\varepsilon > 0$ и $x_0 \geq 0$, что при $x \geq x_0$ $f'(x) - 1 > \varepsilon$, то для того, чтобы тривиальное решение $x = y = z = 0$ системы (3) было устойчиво в целом, необходимо и достаточно, чтобы система (3) не имела регулярных периодических движений.

Утверждение последней теоремы носит альтернативный характер. В связи с этим возникает вопрос, может ли вообще система (3) иметь периодические движения. Следующий пример дает утвердительный ответ на этот вопрос.

Определим функцию $f_1(x)$ следующим образом:

$$f_1(x) = \begin{cases} 2 \cdot 10^4 \cdot x & \text{при } 0 \leq x \leq 10^{-4}, \\ 2 \cdot 10^2 \cdot x + 2 \cdot 99 \cdot 10^{-2} & \text{при } 10^{-4} \leq x \leq 10^{-4} + 10^{-2}; \\ -10^5 \cdot x + 10^3 + 14 & \text{при } 10^{-4} + 10^{-2} \leq x \leq \frac{10^3 + 14}{1 + 10^5}; \\ x & \text{при } x \geq \frac{10^3 + 14}{1 + 10^5}; \end{cases}$$

$$f_1(-x) = f_1(x)$$

Если в системе (3) положить $f(x) \equiv f_1(x)$, то оказывается, что система (3) допускает периодическое движение. Существование периодического движения в этом случае, конечно, можно установить непосредственным интегрированием, но этот путь сопряжен с весьма громоздкими вычислениями. Поэтому доказательство существования периодического движения проводится без интегрирования системы. При этом оказывается, что система (3) допускает периодическое движение не только при $f(x) \equiv f_1(x)$, но и при всяких $f(x)$, достаточно близких к $f_1(x)$. Поэтому, хотя $f_1(x)$ и не удовлетворяет условию (2), можно указать такую $f_2(x)$, что $x f_2(x) > x^2$ при $x \neq 0$, $f_2(0) = 0$, и при $f(x) \equiv f_2(x)$ система (3) будет иметь периодическое движение.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
12 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. П. Еругин, Прикл. матем. и мех., **14**, в. 5 (1950). ² М. А. Айзерман, Усп. матем. наук, **4**, в. 4 (1949). ³ И. Г. Малкин, Прикл. матем. и мех., **16**, в. 3 (1952). ⁴ А. И. Лурье, Некоторые нелинейные задачи теории автоматического регулирования, 1951. ⁵ А. П. Тузов, Вестн. ЛГУ, № 2 (1955). ⁶ Н. Н. Красовский, Прикл. матем. и мех., **17**, в. 3 (1953). ⁷ Е. А. Барбашин, Прикл. матем. и мех., **16**, в. 5 (1952). ⁸ Е. А. Барбашин, Н. Н. Красовский, ДАН, **86**, № 3 (1952). ⁹ В. А. Плисс, ДАН, **103**, № 1 (1955). ¹⁰ Н. П. Еругин, Прикл. матем. и мех., **16**, в. 5 (1952). ¹¹ В. А. Плисс, Прикл. матем. и мех., **17**, в. 5 (1953). ¹² L. E. J. Brouwer, Math. Ann., **72**, 37, 55, 402 (1912).

Н. И. ПОЛЬСКИЙ

ОБ ОДНОЙ ОБЩЕЙ СХЕМЕ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРИБЛИЖЕННЫХ МЕТОДОВ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 25 VII 1956)

1°. Обычно при исследовании сходимости методов типа Рунге — Галеркина изучается тот или иной класс уравнений и устанавливается возможность применения к нему определенного метода приближенного решения. Применение методов функционального анализа и топологии позволило различным авторам обосновать применение методов Рунге, Б. Г. Галеркина, моментов Н. М. Крылова, Г. И. Петрова, наименьших квадратов к некоторым классам уравнений. Как правило, доказывалась возможность применения этих методов к уравнениям второго рода с вполне непрерывным оператором. Другие классы уравнений исследовались путем сведения их к уравнениям второго рода в некотором пространстве. Возникает вопрос о том, нельзя ли расширить класс уравнений, к приближенному решению которых были бы применимы методы указанного типа.

Сущность этих методов состоит в следующем. Рассматривается уравнение $Kx = f$ (K — оператор) в некотором пространстве. Приближенное решение x_n ищется в некотором подпространстве R_n . Для его отыскания исходное уравнение с помощью некоторого проекционного оператора P_n проектируется на подпространство M_n . Приближенное уравнение имеет вид $P_n K x_n = P_n f$.

Описанный метод решения уравнения $Kx = f$ будем называть п р о е к ц и о н н ы м (точная формулировка дана ниже).

Аналогичная схема, по существу, применялась Н. М. Крыловым для решения некоторых дифференциальных и интегральных уравнений и получила название метода моментов. Кроме того, такой метод был применен Г. И. Петровым (1) для одного конкретного случая в качестве обобщения метода Б. Г. Галеркина.

Все упомянутые выше методы являются проекционными. В методе Галеркина, например, $R_n = M_n$ есть возрастающая последовательность конечномерных подпространств. Для уравнений второго рода с вполне непрерывным оператором эта последовательность подпространств может быть выбрана произвольным образом (объединение их должно быть плотно во всем пространстве), при любом их выборе метод Галеркина будет сходящимся.

В настоящей работе доказывается, что при надлежащем выборе подпространств R_n , M_n и операторов P_n л ю б о е линейное уравнение $Kx = f$ можно решать проекционным методом, требуя лишь ограниченность оператора K^{-1} . Условие, полагаемое при этом на R_n , M_n , P_n (оно, вообще говоря, зависит от оператора K) дает достаточно большую свободу их выбора. При нарушении этого условия уравнение $Kx = f$, вообще говоря, нельзя решать проекционным методом, каким бы ни был оператор K , если f произвольно. Сходимость перечисленных выше методов в изученных случаях имеет место именно потому, что это условие там всегда выполнено. Отметим, что здесь также получаются результаты С. Г. Михлина (2) относительно метода наи-

меньших квадратов, так как и в этом случае упомянутое условие выполняется очевидным образом.

2°. Рассматриваются банаховы пространства E_1, E_2 и уравнение $Kx = f$. Линейный оператор K действует из E_1 в $E_2, f \in E_2$. Предполагается, что данное уравнение однозначно разрешимо.

Без ограничения общности будем предполагать, что множество значений оператора K плотно в E_2 , в противном случае можно было бы рассмотреть соответствующее подпространство E_2 . Будем считать также, что область определения оператора K плотна в E_1 .

Пусть $\{\psi_i\}$ — такая система векторов из области определения оператора K , что векторы $\{K\psi_i\}$ образуют полную линейно независимую систему в E_2 . Это означает, что для каждого $\varepsilon > 0$ и любого $x \in E_1$ найдется такой элемент $x_m = \sum_{i=1}^m c_i \psi_i$, что $\|Kx - Kx_m\| < \varepsilon$. В соответствии

с терминологией ⁽²⁾ систему векторов $\{\psi_i\}$ будем называть K -полной.

Через L_n обозначим n -мерные подпространства, порожденные в E_1 векторами $\{K\psi_1, \dots, K\psi_n\}$. Очевидно, $L_1 \subset L_2 \subset \dots$, и объединение всех L_n плотно в E_1 .

Пусть теперь в E_2 задана полная система линейно независимых векторов $\{\varphi_i\}$. Соответствующие n -мерные подпространства, порожденные векторами $\{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$, обозначим через M_n . Очевидно, $M_1 \subset M_2 \subset \dots$ и объединение всех M_n плотно в E_2 . Пусть еще в E_2 задана последовательность проекционных операторов P_n ($P_n^2 = P_n$), каждый из которых отображает E_2 на соответствующее пространство M_n . Требуется, чтобы эти операторы P_n были ограничены по норме в совокупности.

Проекционный метод решения уравнения $Kx = f$ состоит в следующем

Приближенное решение разыскивается в виде $x_n = \sum_{i=1}^n a_i \psi_i$ из условия

$P_n Kx_n = P_n f$. Для установления сходимости приближенных решений к точному воспользуемся условием сходимости метода Г. И. Петрова установленным нами ранее ^(3, 4).

Условие (А). Для всех n , начиная с некоторого, найдется такое положительное число C (общее для всех этих n), что $\|y\| \leq C \|P_n y\|$ для любого y из L_n .

Теорема. Если система $\{\psi_i\}$ K -полна, а система $\{\varphi_i\}$ и операторы P_n таковы, что выполняется условие (А), то, начиная с некоторого n приближенные уравнения разрешимы и $Kx_n \rightarrow Kx$ по норме пространства E_2 *

Доказательство. Введем в рассмотрение оператор θ , переводящий все E_1 в нуль пространства E_2 . Обозначим $Kx = y$; $K\psi_i = \chi_i$; $y_n = Kx_n =$

$= \sum_{i=1}^n a_i K\psi_i = \sum_{i=1}^n a_i \chi_i$. Рассмотрим теперь задачу о приближенном решении по методу Г. И. Петрова уравнения $y + \theta y = f$ в пространстве E_2 .

Так как $\{\chi_i\}$ — полная система в E_2 , оператор θ вполне непрерывен и, по условию, $\{\varphi_i\}$ и $\{P_n\}$ таковы, что удовлетворяется условие (А), то по

теореме, доказанной нами в ^(3, 4), приближенное решение $y_n = \sum_{i=1}^n a_i \chi_i$

найденное из условий $P_n y_n + P_n \theta y_n = P_n f$ (или, что то же, $P_n Kx_n = P_n f$), будет сходиться к точному решению y уравнения $y + \theta y = f$. Таким образом, $\|y_n - y\| \rightarrow 0$, т. е. $\|Kx_n - Kx\| \rightarrow 0$ по норме E_2 .

Замечание. Мы по существу никаких ограничений на оператор K не накладывали. При этом, правда, не получается сходимости x_n к x по норме пространства E_1 , получается лишь сходимость Kx_n к Kx по норме

* Оценка быстроты сходимости здесь аналогична полученной в ⁽⁴⁾.

пространства E_2 . Если же на оператор K наложить единственное ограничение, чтобы он имел ограниченный обратный оператор K^{-1} , то сразу получается сходимость $\|x_n - x\| \rightarrow 0$ по норме E_1 .

Таким образом, проекционный метод приближенного решения уравнения $Kx = f$ дает сходимость $\|Kx_n - Kx\| \rightarrow 0$ без каких бы то ни было ограничений на оператор K и сходимость $\|x_n - x\| \rightarrow 0$ при единственном условии, чтобы K обладал ограниченным обратным.

3°. Покажем теперь, что доказанная теорема дает возможность получить все установленные ранее результаты о сходимости методов, упомянутых в 1°.

1). Метод моментов Н. М. Крылова. Пусть E_2 — пространство Гильберта, последовательность $\{\psi_i\}$ K -полна. По методу моментов выбирается оператор L , отображающий E_1 в E_2 , и приближенное решение
$$x_n = \sum_{i=1}^n a_i \psi_i$$
 ищется из условий $(Kx_n - f, L\psi_i) = 0$; $i = 1, 2, \dots, n$. Здесь

операторы P_n суть операторы ортогонального проектирования.

На основании доказанной теоремы заключаем, что для сходимости метода достаточно, чтобы оператор K^{-1} был ограничен, а системы $\{K\psi_i\}$, $\{L\psi_i\}$ удовлетворяли условию (A). Оно, в частности, выполняется, если $L = I - A$, $L = I - B$, где A и B — вполне непрерывные операторы, не имеющие собственного значения, равного единице.

2) Метод наименьших квадратов. Пусть снова E_2 — гильбертово пространство и система $\{\psi_i\}$ K -полна. Метод заключается в отыскании такого элемента $x_n = \sum_{i=1}^n a_i \psi_i$, чтобы $\|Kx_n - f\|^2 = \min$; $x_n \in L_n$. Это,

как легко видеть, эквивалентно тому, чтобы коэффициенты a_i удовлетворяли системе уравнений $(Kx_n - f, K\psi_i) = 0$; $i = 1, 2, \dots, n$. Следовательно, это частный случай предыдущего метода моментов, когда $K = L$, и условие (A) выполняется очевидным образом. Значит, $\|Kx_n - Kx\| \rightarrow 0$, а если K^{-1} ограничен, то и $\|x_n - x\| \rightarrow 0$.

3) Метод Г. И. Петрова для уравнения $x - \lambda Ax = f$, где A — вполне непрерывный оператор и λ не есть его собственное значение. Пусть $\{\psi_i\}$ и $\{\varphi_i\}$ — базисы в $E_1 = E_2 = E$, т. е., каждый элемент $x \in E$ однозначно представим в виде $x = \sum_{i=1}^{\infty} c_i \varphi_i$. Для этого x оператор P_n опре-

деляется так: $P_n x = \sum_{i=1}^n c_i \varphi_i$. Оператор $K = I - \lambda A$ имеет ограниченный обратный — резольвенту Гильберта. Как показано в (3, 4), для сходимости метода достаточно и в некотором смысле необходимо, чтобы системы $\{\psi_i\}$ и $\{\varphi_i\}$ удовлетворяли условию (A). Нетрудно видеть, что это эквивалентно тому, чтобы системы $\{K\psi_i = (I - \lambda A)\psi_i\}$ и $\{\varphi_i\}$ удовлетворяли условию (A).

4) Метод Б. Г. Галеркина, в частности, получается отсюда, когда $\psi_i = \varphi_i$; $i = 1, 2, \dots, n$. Условие (A) здесь всегда выполнено.

5) Метод Ритца. Здесь K — положительно-определенный самосопряженный оператор в гильбертовом пространстве, $\psi_i = \varphi_i$; $i = 1, 2, \dots, n$, и P_n — операторы ортогонального проектирования. Если K ограничен, то условие (A), как легко видеть, выполняется и $Kx_n \rightarrow Kx$. То же самое будет, если K неограничен, но $\{\psi_i\}$ есть полная система его собственных функций или собственных функций другого оператора, сходного с K (5).

4°. Заметим, что результаты пункта 2° легко формулируются и без привлечения систем векторов $\{\psi_i\}$, $\{\varphi_i\}$, а непосредственно в терминах подпространств L_n , M_n , которые могут и не быть конечномерными.

Для сходимости проекционного метода на L_n , M_n и P_n наложено условие (A). Оно достаточно (если K^{-1} ограничен) для сходимости метода.

Нетрудно показать, что это условие является в некотором смысле и необходимым. Именно, если оно не выполнено, то при любом заданном операторе K можно всегда указать такой элемент $f \in E_2$, чтобы приближенные решения уравнения $Kx = f$ не сходились к точному решению.

Отметим, что такое замечание относительно условия (A) было впервые сделано М. А. Красносельским⁽⁶⁾ при обосновании сходимости метода Г. И. Петрова для нелинейных уравнений с вполне непрерывным оператором.

На основании всего изложенного может быть сформулирована следующая теорема.

Теорема. Для того чтобы проекционный метод для данного уравнения сходиллся ($Kx_n \rightarrow Kx$, а если K^{-1} ограничен, то и $x_n \rightarrow x$) при любой правой части, необходимо и достаточно, чтобы выполнялось условие (A)

Институт теплоэнергетики
Академии наук УССР

Поступило
25 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. И. Петров, Прикл. матем. и мех., 4 (3) (1940). ² С. Г. Михлин, Прямые методы в математической физике, М., 1950. ³ Н. И. Польский, ДАН, 86, № 1 (1952). ⁴ Н. И. Польский, Укр. матем. журн., 7, № 1 (1955). ⁵ С. Г. Михлин, ДАН, 106, № 3 (1956). ⁶ М. А. Красносельский, ДАН, 78, № 6 (1950).

М. К. ПОТАПОВ

О ТЕОРЕМАХ ТИПА ДЖЕКСОНА В МЕТРИКЕ L_p

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 12 VII 1956)

Функция $\varphi(x)$ удовлетворяет интегральному условию Липшица на отрезке $[a, b]$, если для любого заданного h

$$\left(\int_c^d |\varphi(x+h) - \varphi(x)|^p dx \right)^{1/p} \leq M |h|^\alpha, \quad 0 < \alpha \leq 1, \quad (1)$$

где c, d выбраны так, что $a \leq c < d \leq b$ и из $x \in [c, d]$ следует $x+h \in [a, b]$, M не зависит от c, d и h .

Класс $H_p^{(r+\alpha)}(M; [a, b])$ состоит из измеримых на отрезке $[a, b]$ функций, обладающих интегрируемой с p -й степенью r -й производной, удовлетворяющей сверх того условию (1). Как обычно, будем обозначать через $E_n(f(x); [a, b])_{L_p}$ наилучшее приближение $f(x)$ на всем отрезке $[a, b]$ в метрике L_p алгебраическими многочленами степени n .

Справедлива следующая теорема типа теорем Джексона.

Теорема 1. Если $f(x) \in H_p^{(r+\alpha)}(M; [a, b])$, то

$$E_n(f(x); [a, b])_{L_p} \leq \frac{CM}{n^{r+\alpha}}. \quad (2)$$

В метрике C эта теорема допускает усиление; при этом правая часть (2) есть функция от x . Впервые этот результат был получен С. М. Никольским⁽²⁾ при $r=1, \alpha=0$; для любых r и α ($0 < \alpha \leq 1$) теорема была уточнена и доказана А. Ф. Тиманом⁽¹⁾.

Покажем возможность аналогичного уточнения теорем Джексона для функций, обладающих r -й производной, ограниченной в метрике $L_p[a, b]$.

Дальше будет рассматриваться отрезок $[-1, 1]$, что не нарушает общности. Обозначим через γ_m число

$$\gamma_m = \int_{-\pi}^{\pi} \left(\frac{\sin(mt/2)}{m \sin(t/2)} \right)^{2r+4} dt.$$

Известно, что

$$K(t) = \frac{1}{\gamma_m} \left(\frac{\sin(mt/2)}{m \sin(t/2)} \right)^{2r+4}$$

есть четный тригонометрический полином порядка $(r+2)(m-1)$, удовлетворяющий условиям

$$\int_{-\pi}^{\pi} K(t) dt = 1, \quad \int_{-\pi}^{\pi} |t|^\beta K(t) dt \leq \frac{C}{m^\beta}, \quad 0 < \beta < 2r+3. \quad (3)$$

Если $f(x)$ суммируема на отрезке $[-1, 1]$, то

$$Q^*(\cos \theta) = \int_{-\pi}^{\pi} f(\cos(\theta + t)) K(t) dt \quad (4)$$

есть алгебраический полином степени $(r+2)(m-1)$.

Лемма 1. Если функция $f(x)$ обладает производной $f'(x)$, для которой справедливо неравенство

$$\left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f'(x)}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^s} \right|^p dx \right)^{1/p} \leq M < \infty,$$

то существует полином степени не выше n такой, что

$$I = \left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f(x) - Q(x)}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} \right|^p dx \right)^{1/p} \leq \frac{CM}{n}, \quad (5)$$

где C не зависит от n , $n \geq [s] + 2$.

Доказательство. Пусть m — наибольшее число, удовлетворяющее неравенству $(r+2)(m-1) \leq n$, где $r = [s]$. За полином $Q(x)$ возьмем полином (4); в левой части неравенства (5) сделаем подстановку $x = \cos \theta$ и получим

$$I = \left(\frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \left| \int_{-\pi}^{\pi} K(t) \frac{f(\cos \theta) - f(\cos(\theta + t))}{\left(|\sin \theta| + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} dt \right|^p |\sin \theta| d\theta \right)^{1/p}.$$

Применяя обобщенное неравенство Минковского, имеем

$$I \leq \int_{-\pi}^{\pi} K(t) I_1 dt = \int_{-\pi}^{\pi} K(t) \left(\frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \left| \frac{f(\cos \theta) - f(\cos(\theta + t))}{\left(|\sin \theta| + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} \right|^p |\sin \theta| d\theta \right)^{1/p} dt.$$

Оценим внутренний интеграл I_1 , учитывая, что $f(x)$ имеет производную. Преобразуя I_1 и еще раз применяя неравенство Минковского, получим для $t \geq 0$

$$\begin{aligned} I_1 &= \left(\frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \left| \int_0^t \frac{f'(\cos(\theta + u)) \sin(\theta + u)}{\left(|\sin \theta| + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} du \right|^p |\sin \theta| d\theta \right)^{1/p} \leq \\ &\leq \int_0^t \left(\frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} \left| \frac{f'(\cos(\theta + u)) \sin(\theta + u)}{\left(|\sin \theta| + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} \right|^p |\sin \theta| d\theta \right)^{1/p} du. \end{aligned}$$

Умножим числитель и знаменатель подынтегрального выражения в правой части последнего неравенства на $\left(|\sin(\theta + u)| + \frac{1}{n} \right)^s$ и воспользуемся легко доказываемым неравенством

$$\frac{\left(|\sin(\theta + u)| + \frac{1}{n} \right)^{sp} |\sin(\theta + u)|^p |\sin \theta|}{\left(|\sin \theta| + \frac{1}{n} \right)^{(s+1)p}} \leq C_1 (1 + mu)^{(s+1)p} |\sin(\theta + u)|.$$

Учитывая, что $0 \leq u \leq t$, имеем

$$I_1 \leq C_1 M t (1 + mt)^{s+1}.$$

Аналогичная оценка верна для $t \leq 0$, причем t заменяется на $|t|$.

Следовательно,

$$I \leq C_1 M \int_{-\pi}^{\pi} |t| (1 + m|t|)^{s+1} K(t) dt,$$

откуда на основании (3) получаем

$$I \leq \frac{CM}{n}.$$

Лемма доказана.

Лемма 2. Если $f(x)$ обладает производной, для которой справедливо неравенство

$$\left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f'(x) - P_{n-1}(x)}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^s} \right|^p dx \right)^{1/p} \leq M < \infty,$$

где $P_{n-1}(x)$ — полином степени не выше $n-1$, то для $n \geq s+2$ найдется полином степени не выше n такой, что

$$\left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f(x) - Q_n(x)}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} \right|^p dx \right)^{1/p} \leq \frac{CM}{n}.$$

Доказательство. Положим $\varphi(x) = f(x) - \int_0^x P_{n-1}(u) du$; тогда $\varphi(x)$ удовлетворяет условиям леммы 1, и поэтому существует полином $Q^*(x)$ степени не выше n такой, что

$$\begin{aligned} \left(\int_{-1}^1 \left| \frac{\varphi(x) - Q^*(x)}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} \right|^p dx \right)^{1/p} &= \left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f(x) - \left\{ Q^*(x) + \int_0^x P_{n-1}(u) du \right\}}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} \right|^p dx \right)^{1/p} = \\ &= \left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f(x) - Q_n(x)}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^{s+1}} \right|^p dx \right)^{1/p} \leq \frac{CM}{n}. \end{aligned}$$

Так как $Q_n(x) = Q^*(x) + \int_0^x P_{n-1}(u) du$ — полином степени не выше n , то справедливость леммы доказана.

Применяя r раз лемму 2, получаем теорему 2.

Теорема 2. Если $f(x)$ имеет r -ю производную, удовлетворяющую условию $\left(\int_{-1}^1 |f^{(r)}(x)|^p dx \right)^{1/p} \leq M$, то для $n \geq r+1$ найдется полином степени не выше n такой, что

$$\left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f(x) - P_n(x)}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^r} \right|^p dx \right)^{1/p} \leq \frac{CM}{n^r}.$$

Теорема 3. Если $f(x) \in H_p^{(r+\alpha)}(M; [-1, 1])$, $0 < \alpha \leq 1$, то для $n \geq r+1$ найдется полином степени не выше n такой, что

$$\left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f(x) - P_n(x)}{\left(\sqrt{1-x^2} + \frac{1}{n} \right)^r} \right|^p dx \right)^{1/p} \leq \frac{CM}{n^{r+\alpha}}.$$

Доказательство. Как следует из теоремы 1, существует полином $P_{n-r}(x)$ степени не выше $n-r$ такой, что

$$\left(\int_{-1}^1 |f^{(r)}(x) - P_{n-r}(x)|^p dx \right)^{1/p} \leq \frac{C_1 M}{n^\alpha}.$$

Теперь, применяя r раз лемму 2, получим утверждение теоремы.

Рассмотрим класс функций $\bar{H}_p^{(r+\alpha)}(M; [a, b])$. Будем говорить, что $f(x) \in \bar{H}_p^{(r+\alpha)}(M; [a, b])$, если $f(x)$ имеет r -ю производную, интегрируемую в p -й степени с весом $[(a-x)(x-b)]^{-1/2}$ на $[a, b]$, для которой при любом h выполняется неравенство

$$\left(\int_c^d |f^{(r)}(x+h) - f^{(r)}(x)|^p \frac{dx}{V(a-x)(x-b)} \right)^{1/p} \leq M |h|^\alpha,$$

где c и d выбраны так, что $a \leq c < d \leq b$ и из $x \in [c, d]$ следует $x+h \in [a, b]$. Для простоты положим $[a, b] = [-1, 1]$.

Через $\bar{E}_n(f(x); [-1, 1])_{L_p}$ обозначим

$$\bar{E}_n(f(x); [-1, 1])_{L_p} = \min_{P_n} \left(\int_{-1}^1 |f(x) - P_n(x)|^p \frac{dx}{V(1-x^2)} \right)^{1/p}.$$

Для класса $\bar{H}_p^{(r+\alpha)}(M; [-1, 1])$ справедливы следующие теоремы.

Теорема 4. Если $f(x) \in \bar{H}_p^{(r+\alpha)}(M; [-1, 1])$, то

$$\bar{E}_n(f(x); [-1, 1])_{L_p} \leq \frac{CM}{n^{r+\alpha}}.$$

Теорема 5. Если $f(x)$ имеет r -ю производную, удовлетворяющую условию $\left(\int_{-1}^1 |f^{(r)}(x)|^p \frac{dx}{V(1-x^2)} \right)^{1/p} \leq M$, то для $n \geq r+1$ найдется полином степени не выше n такой, что

$$\left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f(x) - P_n(x)}{\left(V(1-x^2) + \frac{1}{n} \right)^r} \right|^p \frac{dx}{V(1-x^2)} \right)^{1/p} \leq \frac{CM}{n^r}.$$

Теорема 6. Если $f(x) \in \bar{H}_p^{(r+\alpha)}(M; [-1, 1])$, $0 < \alpha \leq 1$, то для $n \geq r+1$ найдется полином степени не выше n такой, что

$$\left(\int_{-1}^1 \left| \frac{f(x) - P_n(x)}{\left(V(1-x^2) + \frac{1}{n} \right)^r} \right|^p \frac{dx}{V(1-x^2)} \right)^{1/p} \leq \frac{CM}{n^{r+\alpha}}.$$

Эта заметка возникла в результате участия автора в семинаре по теории наилучших приближений под руководством проф. С. М. Никольского, который на одном из заседаний семинара сообщил постановку задачи, решенной в заметке.

Ивановский государственный
педагогический институт

Поступило
12 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Ф. Тиман, ДАН, 77, № 6 (1951). ² С. М. Никольский, Изв. АН СССР, сер. матем., 10, 207 (1946).

В. И. ПРОТАСОВ

ОБ ОДНОМ ЛИНЕЙНОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОМ УРАВНЕНИИ БЕСКОНЕЧНОГО ПОРЯДКА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 23 VII 1956)

В настоящей статье будет рассмотрен вопрос о существовании решения одного линейного дифференциального уравнения бесконечного порядка с постоянными коэффициентами. Решение дифференциального уравнения

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n y^{(n)}(x) = f(x), \quad (1)$$

где $f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{b_k}{k!} x^k$ — аналитическая функция в некотором круге или на всей плоскости, рассматривалось многими авторами в предположении, что существует аналитическая в некоторой области, содержащей начало координат, функция

$$\varphi(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n, \quad (2)$$

называемая характеристической функцией дифференциального уравнения (1).

В настоящей статье будет доказано существование решения дифференциального уравнения (1) в том случае, когда коэффициенты a_n с возрастанием чисел n растут быстрее, чем коэффициенты аналитической функции, т. е. когда уравнение (1) не имеет характеристической функции.

Теорема 1. Если $\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\frac{|a_n|}{n!}} = \frac{1}{R}$, то для любой целой функции $f(x)$, имеющей рост порядка не выше $1/2$, и типа, меньшего числа $2\sqrt{R}$, существует решение среди целых функций порядка не выше $1/2$ и типа меньшего $2\sqrt{R}$.

Решение дифференциального уравнения (1) будем искать в виде ряда

$$y(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c_k}{k!} x^k.$$

Подставляя функцию $y(x)$ в уравнение (1) и принимая во внимание, что $f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{b_k}{k!} x^k$, для определения коэффициентов c_0, c_1, c_2, \dots получаем бесконечную систему линейных уравнений, которая в матричной форме имеет вид

$$Ac = b. \quad (3)$$

Здесь положено:

$$A = \begin{pmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \dots \\ a_0 & a_1 & a_2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_0 & a_1 & a_2 & \dots \end{pmatrix}, \quad c = (c_0, c_1, c_2, \dots), \quad b = (b_0, b_1, b_2, \dots).$$

Наряду с преобразованием, производимым матрицей A , рассмотрим преобразование, производимое транспонированной матрицей

$$A'd = f,$$

где

$$A' = \begin{pmatrix} a_0 & & \\ a_1 & a_0 & \\ a_2 & a_1 & a_0 \\ \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \quad d = (d_0, d_1, d_2, \dots), \quad f = (f_0, f_1, f_2, \dots).$$

Преобразование (4) можно представить в виде

$$\frac{f_n}{n!} = \sum_{k=0}^n \frac{a_k}{n!} d_{n-k} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

Умножая n -е равенство из (5) на z^n и суммируя по всем n , можно полученный результат записать в форме

$$d_0 \psi(z) + d_1 \int_0^z \psi(t) dt + \dots + d_n \int_0^z \int_0^{t_{n-1}} \dots \int_0^{t_1} \psi(t) dt \dots dt_{n-1} + \dots = F(z),$$

где положено $F(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{f_k}{k!} z^k$, $\psi(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a_n}{n!} z^n$.

В силу условий теоремы, функция $\psi(z)$ аналитична в круге $|z| < R$. Для любого n и $z = r < R$ справедливо неравенство

$$\left| \int_0^z \int_0^{t_{n-1}} \dots \int_0^{t_1} \psi(t) dt \dots dt_{n-1} \right| \leq \frac{r^n}{n!} M(r),$$

где $M(r) = \max_{|z|=r} |\psi(z)|$.

Обозначая через $D(r)$ функцию $D(r) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{|d_n|}{n!} r^n$, из соотношений (6) и (7) получаем

$$\max_{|z|=r} |F(z)| \leq D(r) \cdot M(r).$$

Если рост коэффициентов $\{d_n\}$ определяется условием

$$\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\frac{|d_n|}{n!}} \leq \frac{1}{R},$$

то из (8) вытекает, что рост коэффициентов $\{f_k\}$ определен условием

$$\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\frac{|f_n|}{n!}} \leq \frac{1}{R}. \quad (1)$$

Известно, что если матрица A преобразует некоторое пространство E в себя, то транспонированная ей преобразует в себя взаимное пространство E^* (2).

Неравенства (9) и (10) определяют аналитическое пространство (1) A . Поэтому матрица A преобразует в себя пространство, взаимное к A , т. е. пространство $\bar{A}_{1/R}$ (1). Значит,

$$\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n! |b_n|} < R, \quad \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{n! |c_n|} < R. \quad (1)$$

Из последних соотношений и вытекает справедливость теоремы. Аналогично теореме 1 доказывается теорема 2.

Теорема 2. Если $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\frac{|a_n|}{n!}} = \frac{1}{R}$, то для любой целой функции (x) , имеющей порядок роста $1/2$ и тип меньший $2 \sqrt{R_1}$ ($R_1 < R$), существует решение среди целых функций порядка не выше $1/2$ и типа меньшего $\sqrt{R_1}$.

Приведем примеры к теоремам 1 и 2.

1. Дифференциальное уравнение

$$y + qy' + 2!q^2y'' + \dots + n!q^ny^{(n)} + \dots = f(x) \quad (0 < q < 1),$$

где $f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \cdot \frac{1}{q^n} \int_0^q \int_0^{t_{n-1}} \dots \int_0^{t_1} \frac{dt}{1-t}$, имеет решение вида

$$y(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{(n!)^2}.$$

2. Дифференциальное уравнение

$$y + y' + 2!y'' + \dots + n!y^{(n)} + \dots = f(x),$$

где $f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \int_0^q \int_0^{t_{n-1}} \dots \int_0^{t_1} \frac{dt}{1-t}$, $0 < q < 1$, имеет решение

$$y(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{q^n x^n}{(n!)^2}.$$

Из неравенств

$$\left| \frac{1}{q^n} \int_0^q \int_0^{t_{n-1}} \dots \int_0^{t_1} \frac{dt}{1-t} \right| \leq \frac{1}{1-q} \cdot \frac{1}{n!}, \quad \left| \int_0^q \int_0^{t_{n-1}} \dots \int_0^{t_1} \frac{dt}{1-t} \right| \leq \frac{1}{1-q} \cdot \frac{q^n}{n!}$$

вытекает, что функции $f(x)$ и $y(x)$ имеют порядок роста $1/2$ и тип не выше 1 и q соответственно в примерах 1 и 2. Можно предположить рост коэффициентов a_n таким, что функция $\psi(z)$ из (6) является целой функцией.

Теорема 3. Если $\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} n^{1/\rho_1} \sqrt[n]{\frac{|a_n|}{n!}} = (\sigma_1 e \rho_1)^{1/\rho_1}$ ($\rho_1 > 1$), а правая часть дифференциального уравнения (1) есть целая функция порядка $\frac{\rho_2}{2\rho_2-1}$, $\rho_2 > \rho_1$ и нормального типа, то решение существует среди функций, растущих не быстрее целых функций порядка $\frac{\rho_2}{2\rho_2-1}$ и того же типа.

Существует такое положительное число σ_2 , что выполняется неравенство

$$\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} n^{\frac{(2\rho_2-1)}{\rho_2}} \sqrt[n]{\frac{|b_n|}{n!}} < (\sigma_2 e \rho_2)^{-\frac{1}{\rho_2}} e^2. \quad (12)$$

Для доказательства коэффициенты $\{d_n\}$ в преобразовании (6) следует выбрать так, чтобы

$$\overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} n^{1/\rho_3} \sqrt[n]{\frac{|d_n|}{n!}} = (\sigma_2 e \rho_2)^{1/\rho_2}. \quad (13)$$

Функция $D(r) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{|d_n|}{n!} r^n$ при таком выборе чисел d_n окажется целого порядка ρ_2 и типа σ_2 . Так как $\rho_2 > \rho_1$, то в силу соотношения (8), функция $F(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{f_k}{k!} z^k$ целая и имеет рост, не превосходящий роста функции $D(r)$. Поэтому

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^{1/\rho} \sqrt[n]{\frac{|f_n|}{n!}} \leq (\sigma_2 e \rho_2)^{1/\rho_2}. \quad (1)$$

Таким образом, матрица A преобразует в себя пространство точек, определяемое соотношением (14), а транспонированная ей преобразует в себя пространство, определяемое неравенством (12), что и доказывает теорему.

В зависимости от роста коэффициентов a_n функция $\psi(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a_n}{n!}$ может быть аналитической в круге конечного радиуса, как это предположено в теоремах 1 и 2, или быть целой, в частности порядка ρ_1 и типа σ_1 . Порядок ρ_1 предполагается строго большим первого, так как при $\rho_1 = 0$ вопрос сводится к рассмотрению дифференциального уравнения с характеристической функцией, аналитической в круге. Если функция $\psi(z)$ целая порядка ρ_1 и типа σ_1 , то рост правой части и решения имеют порядок не выше $\frac{\rho_2}{2\rho_2 - 1}$ ($\rho_2 > \rho_1$). Функцию $\psi(z)$, имеющую конечный радиус сходимости степенного ряда, можно рассматривать как функцию бесконечного порядка. Естественно ожидать, что порядок роста правой части и решения в этом случае можно получить, если ρ_2 рассматривать как бесконечно большое. Тогда порядок решения не выше

$$\lim_{\rho_2 \rightarrow \infty} \frac{\rho_2}{2\rho_2 - 1} = \frac{1}{2},$$

что и подтверждается теоремами 1 и 2.

Таганрогский радиотехнический
институт

Поступило
5 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Г. Хапланов, ДАН, 79, № 6 (1951). ² М. Г. Хапланов, ДАН, 80, № 1 (1951).

С. С. ВЯЛОВ и член-корреспондент АН СССР Н. А. ЦЫТОВИЧ

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ ПО ВЕЛИЧИНЕ ВДАВЛИВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ШТАМПА

Осадки, развивающиеся при постепенном загрузении пластичных связных (глинистых) грунтов, можно условно разделить на практически затухающие со времени, включающие чисто упругую, упруго-адсорбционную деформацию и структурную деформацию уплотнения и незатухающие осадки ползучести, обусловленные сдвиговыми процессами и проявляющиеся в виде пластично-вязкого течения, переходящего с повышением нагрузки в прогрессирующее течение.

Переход от затухающей осадки к незатухающей обуславливается достижением касательными напряжениями предельно длительного сопротивления грунта сдвигу, когда образовавшееся под подошвой штампа плотное ядро как бы раздвигает окружающий грунт и фундамент погружается в него как в пластично-вязкую среду. Под предельной нагрузкой $p_{пр}$ на связные грунты следует понимать такую нагрузку, превышение которой приводит к возникновению незатухающей осадки.

До достижения нагрузкой предельного значения между давлением p и стабилизированной осадкой s существует однозначная, в общем случае нелинейная зависимость ^(1,2).

$$p = A \left(\frac{s}{D} \right)^\alpha,$$

где D — диаметр штампа, A и α — параметры), перестающая быть справедливой при $p < p_{пр}$, когда при установлении закономерности процесса деформирования следует исходить из скорости нарастания незатухающей осадки ⁽³⁾.

Как известно ^(3,4), величина $p_{пр}$, определяемая теорией предельного равновесия для случая полосовой нагрузки, равняется: для связных грунтов, обладающих как сцеплением (c), так и трением (φ)

$$p_{пр} = \operatorname{ctg} \varphi \left[\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - 1 \right] c + q \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{\pi \operatorname{tg} \varphi}, \quad (1)$$

для идеально-связных (пластичных) грунтов, обладающих только сцеплением

$$p_{пр} = 5,14c + q, \quad (2)$$

где q — боковая пригрузка.

При этом, учитывая явления текучести и исходя из сформулированного выше определения $p_{пр}$, значения c и φ должны быть минимальными, соответствующими предельно длительному сопротивлению сдвигу.

При конфигурации фундамента, отличной от полосовой, значение $p_{пр}$ для идеально-связных грунтов равняется: для прямоугольного ($2a < 2b$) в плане фундамента ⁽⁵⁾

$$p_{пр} = \begin{cases} 5,24 + 0,47 \frac{b}{a} c + q & \text{при } \frac{b}{a} > 0,53; \\ 5,14 + 0,66 \frac{b}{a} c + q & \text{при } \frac{b}{a} < 0,53, \end{cases}$$

откуда для квадратного фундамента

$$p_{\text{пр}} = 5,71 c + q; \quad (3)$$

для круглого в плане фундамента ^(6,7)

$$p_{\text{пр}} = 5,68 c + q. \quad (4)$$

Для определения сцепления c успешно может быть применен предложенный Н. А. Цытовичем ⁽⁸⁾ метод вдавливания шарикового штампа, позволяющий учитывать реологические свойства грунтов. Значение c находится по величине погружения (осадке s) шарика диаметром D , вдавливаемого под постоянной нагрузкой P ^(8,9):

$$c = P / 5,56 \pi D s, \quad (5)$$

причем наибольшая стабилизированная осадка соответствует наименьшему предельно длительному сцеплению $c_{\text{дл}}$.

Как показали дальнейшие исследования (В. Г. Березанцева, Н. А. Цытовича и С. С. Вялова), значение c , определяемое указанным выше методом, будет характеризовать в чистом виде сцепление только для пластичных грунтов, не обладающих внутренним трением (во всяком случае, у которых φ не превышает $5-7^\circ$). Для грунтов же, обладающих как сцеплением, так и трением, требуется учитывать последнее, соответственно с чем в формулу (5) должна быть введена поправка, уменьшающая значение c за счет влияния трения. Решение указанной задачи дано В. Г. Березанцевым ⁽¹⁰⁾ по данным которого можно вычислить величину множителя M , вводимого в формулу (5), значения которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

φ°	0	10	20	30
M	1,0	0,615	0,285	0,122

В то же время сопротивление вдавливанию шарикового штампа можно рассматривать как комплексную характеристику, отображающую суммарное сопротивление сдвигу связных грунтов. Авторы предлагают использовать шариковую пробу для определения этой обобщенной величины, рассматривая значение c , вычисляемое по формуле (5), как эквивалентное сцепление $c_{\text{экв}}$, учитывающее сопротивление сдвигу комплексно, без разделения его на сцепление и внутреннее трение*.

Применение такой обобщенной характеристики тем более целесообразно, что раздельное определение параметров c и φ достаточно сложно, особенно с учетом реологических процессов, а также изменчивости c и φ в зависимости от состояния плотности грунтов. При этом само разделение сопротивления сдвигу на сцепление и трение условно, а параметры c и φ не имеют четкого физического смысла (исходя из чего, их рассматривают просто как параметры уравнения прямой сдвига).

Определение же эквивалентного сцепления по методу шариковой пробы весьма просто, причем испытания могут проводиться как в лабораторных условиях, так и непосредственно в поле, в забое шурфов, что дает возможность определить прочностные свойства грунта по всей глубине исследуемого массива. В то же время этот метод, моделируя сопротивление грунта вдавливанию штампа, позволяет с достаточной для практических целей точностью оценить по величине $c_{\text{экв}}$ несущую способность связных грунтов. Действительно, если в формулу (2) подставить величину эквивалентного сцепления $c_{\text{экв}}$ (без учета поправки на трение), то в пределах не очень больших изменений φ значения $p_{\text{пр}}$ оказываются примерно равными значениям

* Доложено на совещании по природе прочности грунтов в июне 1955 г. при ОТН АН СССР.

подсчитанным по формуле (1) с раздельным учетом φ и c , где c определяется с введением поправки согласно табл. 1.

Таблица 2

Способ под- счета $p_{пр}$	$c_{эКВ}=0,5 \text{ кг/см}^2$		$c_{эКВ}=0,75$		$c_{эКВ}=2,3$		$c_{эКВ}=4,0$	
	Боковая пригрузка q , кг/см ²							
	0	0,5	0	0,5	0	0,5	0	0,5
{ $\varphi=0^\circ$ $\varphi=10^\circ$ $\varphi=20^\circ$ $\varphi=30^\circ$	2,6	3,1	3,85	4,4	11,8	12,3	20,6	21,1
	2,6	3,1	3,85	4,4	11,8	12,3	20,6	21,1
	2,7	3,7	3,8	5,0	11,7	12,9	20,5	21,7
	2,1	5,3	3,2	6,4	9,7	12,9	17,0	20,1
					8,4	17,6	14,7	23,9

В табл. 2 приведены значения $p_{пр}$ (в кг/см²), подсчитанные двумя способами: I — по формуле (2) с подстановкой полной величины $c_{эКВ}$, определяемой выражением (5), и II — по формуле (1) с раздельным учетом трения φ и «чистого» сцепления, определяемого как $c = Mc_{эКВ}$.

Таким образом, предельная нагрузка на связные грунты, обладающие достаточно большим сцеплением (порядка 0,2—0,3 кг/см² и выше), при не очень большом трении может быть определена по простейшим формулам (2) — (4), выведенным для идеально связной ($\varphi = 0$) среды, если эти формулы подставить обобщенную характеристику — эквивалентное сцепление, учитывающую как «чистое» сцепление, так, в известной мере, трение.

Предельная нагрузка на грунты может быть определена, как предложено С. С. Вяловым (1952 г.) и И. Н. Вотяковым (1953 г.), также и непосредственно из испытания вдавливанием шарикового (сферического) штампа по величине погружения сферы. Среднее давление, передаваемое сферой на грунт, $p = P/\omega$, будет по мере вдавливания сферы уменьшаться обратно пропорционально увеличению площади отпечатка ω , т. е. при увеличении глубины вдавливания s . При этом кривая уменьшения p во времени будет подобна кривой изменения $c_{эКВ}$, определяемой выражением (5). Наименьшее давление p отвечает конечной стабилизированной осадке $s_{ст}$ — это давление и является предельным $p_{пр}$, т. е. таким, при котором деформация грунтов имеет затухающий характер. Любое увеличение силы P , приложенной к сфере, повлечет дальнейшее погружение последней, но это погружение опять-таки прекратится, как только давление достигнет указанного выше, вполне определенного для данного грунта предельного значения $p_{пр}^*$.

Из сопоставления значения p с выражением (5) следует, что

$$p_{пр} = \frac{P}{\pi D s_{ст}} = 5,56 \cdot c_{эКВ} \text{ (дл)}. \tag{6}$$

Выражение (6) дает значения $p_{пр}$, близкие к значениям p из формул (3) и (4). Таким образом, предельная нагрузка, определяемая непосредственно по глубине вдавливания сферического штампа, может приближенно рассматриваться как предельная нагрузка на незаглубленный плоский штамп квадратного или круглого очертания в плане. Для проверки сказанного были проведены сопоставительные испытания грунта на вдавлива-

* Некоторое увеличение $p_{пр}$ (равно как и $s_{дл}$) с увеличением P будет иметь место в результате упрочнения грунта (9), однако это увеличение невелико, и в первом приближении им можно пренебречь.

ние сферы ($D = 18$ мм) под постоянной нагрузкой P и на вдавливание плоского круглого штампа ($D = 100$ мм) под нагрузкой, возрастающей ступенями. В первом случае значение $p_{\text{пр}}$ определялось в соответствии с выражением (6) по величине стабилизированной осадки, во втором — как такая нагрузка, превышение которой вызывало незатухающую осадку. Совпадение оказалось вполне удовлетворительным.

Нам представляется также целесообразным применять метод вдавливания сферического штампа (достаточно большого диаметра) и для испытания грунтов в натуре взамен практикуемого способа пробных нагрузок на плоский штамп. В этом случае испытание проводится под одной постоянной нагрузкой P , а не под рядом нагрузок, возрастающих ступенями, чем сокращается время эксперимента. Значение же $p_{\text{пр}}$ определяется «автоматически» по величине стабилизированной осадки, а не по условной точке на диаграмме $p-s$, как это делается при испытаниях с плоскими штампами.

Институт мерзлотоведения
им. В. А. Обручева
Академии наук СССР

Поступило
16 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. И. Черкасов, ДАН, 82, № 3 (1952). ² С. С. Вялов, ДАН, 104, № 1 (1955). ³ Н. А. Цытович, Механика грунтов, 1951. ⁴ В. В. Соколовский, Статика сыпучей среды, 1954. ⁵ R. Shield, P. Drucker, J. Appl. Mech., 20, № 4 (1953). ⁶ А. Ю. Ишлинский, Прикл. матем. и мех., 8, № 3 (1944). ⁷ В. Г. Березанцев, Осесимметричная задача теории предельного равновесия, 1952. ⁸ Н. А. Цытович, Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов, в. 2, Изд. АН СССР, 1954. ⁹ С. С. Вялов, Н. А. Цытович, ДАН, 104, № 1 (1955). ¹⁰ В. Г. Березанцев, Изв. АН СССР, ОТН, № 7 (1955).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Хр. Я. ХРИСТОВ

**ПРИБЛИЖЕННОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ФУНКЦИИ ГРИНА
КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ НЕЙТРОНОВ**

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 16 VIII 1956)

В этой работе мы используем результаты и обозначения работы (1). Уравнение (5) в (1), определяющее искомую функцию Грина, можно переписать в виде

$$W - A - \Phi W = 0, \quad (1)$$

где свободный член A и интегральный оператор Φ даются выражениями

$$A = e^{-p(u)t} \delta(\mathbf{r} - \mathbf{u}t) \delta(\mathbf{v} - \mathbf{u}), \quad (2)$$

$$\Phi W = \int_0^t \int_0^t \int e^{-p(u)\tau} W(t - \tau, \mathbf{r} - \mathbf{u}\tau, \mathbf{w}, \mathbf{v}) \times \\ \times \left[Q(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \delta(\sigma - \tau) + \sum_i R_i(\mathbf{u}, \mathbf{w}) e^{-\lambda_i(\sigma - \tau)} \right] d\mathbf{r} d\sigma d\mathbf{w}. \quad (3)$$

Итерированием получаем n -е приближенное решение (1):

$$W_n = A + \Phi A + \Phi^2 A + \dots + \Phi^{n-1} A + \Phi^n W_0, \quad (4)$$

где W_0 — исходное приближение функции W . Из физического смысла членов (4) сразу видно, что последовательность (4) сходится с возрастанием n при любом выборе W_0 и что, если $W_0 = A$, то приближение (4) может быть хорошим только, если $t \lesssim nt$, где \bar{t} — среднее время между двумя актами типа 1 — 4 (1), т. е. только для малых t . Мы ставим себе задачу определить функцию W_0 так, чтобы она представляла хорошее приближение W при большом t , и чтобы W_n уже при небольших n дало хорошее приближение W при любом t . Мы будем искать W_0 в виде

$$W_0(t, \mathbf{r}, \mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{\beta^3}{\pi^3 a^3 b^3 (1 - \lambda^2)^{3/2} (\beta t - 2\mu)^{3/2}} \times \\ \times \exp \left[-\alpha t - \frac{(\mathbf{v} - \mathbf{u}\lambda)^2}{a^2 (1 - \lambda^2)} - \frac{(\beta \mathbf{r} - (\mathbf{u} + \mathbf{v})\mu)^2}{b^2 (\beta t - 2\mu)} \right], \quad (5)$$

где для краткости положено $\lambda = e^{-\beta t}$, $\mu = (1 - e^{-\beta t}) / (1 + e^{-\beta t})$.

Выражение (5) является некоторым обобщением функции Чандрасекара, дающей аналогичную вероятность в случае броуновского движения (2). Она получается из (5) при $\alpha = 0$, $b = \sqrt{2}a$. Обобщение (5) необходимо в связи с тем, что нейтроны создаются, поглощаются и не находятся в термическом равновесии со средой (3). Константы a , b , α , β определим так, чтобы функция W_0 возможно лучше аппроксимировала функцию W при больших t .

Непосредственно проверяется, что

$$T(\mathbf{u}, \mathbf{v}) dt d\mathbf{v} \text{ при } T(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = Q(\mathbf{u}, \mathbf{v}) + \sum_i \frac{1}{\lambda_i} R_i(\mathbf{u}, \mathbf{v})$$

есть вероятность того, что один нейтрон, движущийся со скоростью \mathbf{u} , участвует в интервале времени dt в некотором из актов 2—4 (1), и в результате получается нейтрон со скоростью между \mathbf{v} и $\mathbf{v} + d\mathbf{v}$. Из (5) получаем, что по крайней мере при больших t ,

$$U(u, a) d\mathbf{v} = \frac{1}{\pi^{3/2} a^3} e^{-v^2/a^2} d\mathbf{v}$$

—вероятность того, что нейтрон имеет скорость между \mathbf{v} и $\mathbf{v} + d\mathbf{v}$. Тогда, очевидно,

$$V(v, a) d\mathbf{v} = \frac{\int U(u, a) T(\mathbf{u}, \mathbf{v}) d\mathbf{u}}{\int \int U(u, a) T(\mathbf{u}, \mathbf{v}) d\mathbf{u} d\mathbf{v}} d\mathbf{v} \quad (6)$$

даст вероятность того, что полученный в результате актов 2—4 нейтрон имеет начальную скорость между \mathbf{v} и $\mathbf{v} + d\mathbf{v}$. Пусть $\bar{\mathbf{r}}(\mathbf{u})$ — средний радиус-вектор нейтронов при больших t по отношению к начальному положению первичного нейтрона и пусть $R = \int V(u, a) |\bar{\mathbf{r}}(\mathbf{u})| d\mathbf{u}$ — абсолютное значение радиуса-вектора, усредненное по \mathbf{u} . Пусть $\bar{\mathbf{r}}^2(t)$ — дисперсия нейтронов в момент t усредненная по \mathbf{u} . Тогда $D = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{6t} \bar{\mathbf{r}}^2(t)$ — коэффициент диффузии нейтронов. Мы определим константы R и D так, чтобы их значения, найденные из (5), равнялись тем, которые можно получить прямым подсчетом.

Из (5) находим

$$R = \frac{4\pi}{\beta} \int_0^\infty V(u, a) u^3 du, \quad D = \frac{1}{4} \frac{b^2}{\beta}. \quad (7)$$

Теперь мы вычислим R и D прямо, исходя из механизма диффузии нейтронов. Пусть $V_k(\mathbf{u}, \mathbf{v}) d\mathbf{v}$ — вероятность того, что среди нейтронов k -го поколения, созданных первичным нейтроном, движущимся со скоростью \mathbf{u} , имеется один со скоростью между \mathbf{v} и $\mathbf{v} + d\mathbf{v}$. Нетрудно найти

$$V_1(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \delta(\mathbf{v} - \mathbf{u}),$$

$$V_{k+1}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \int V_k(\mathbf{u}, \mathbf{w}) T(\mathbf{w}, \mathbf{v}) \frac{d\mathbf{w}}{p(\mathbf{w})} \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (8)$$

Имея в виду, что среднее перемещение нейтрона со скоростью \mathbf{v} дается через $\mathbf{v}/p(v)$, и обозначая через $\bar{\mathbf{r}}^k(\mathbf{u})$ среднее перемещение нейтронов k -го поколения, если скорость первичного нейтрона была \mathbf{u} , находим

$$\bar{\mathbf{r}}^k(\mathbf{u}) = \frac{\int V_k(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \frac{\mathbf{v}}{p(v)} d\mathbf{v}}{\int V_k(\mathbf{u}, \mathbf{v}) d\mathbf{v}}, \quad \bar{\mathbf{r}}(\mathbf{u}) = \sum_{k=1}^\infty \bar{\mathbf{r}}^k(\mathbf{u}). \quad (9)$$

Тогда из определения R и из (7) находим:

$$\frac{1}{\beta} \int_0^\infty V(u, a) u^3 du = \int_0^\infty V(u, a) u^2 \left| \sum_{k=1}^\infty \bar{\mathbf{r}}^k(\mathbf{u}) \right| du, \quad (10)$$

причем V , V_k и $\bar{\mathbf{r}}^k$ даются из (6), (8) и (9).

Пусть \bar{t} — среднее время жизни нейтрона данного поколения и $\bar{\mathbf{r}}_N^2$ — средняя дисперсия всех нейтронов до N -го поколения. Тогда мы можем написать $D = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{6N\bar{t}} \bar{\mathbf{r}}_N^2$. При этом для t и $\bar{\mathbf{r}}_N^2$ имеем

$$\bar{t} = 4\pi \int_0^\infty \frac{V(u, a)}{p(u)} u^2 du, \quad \bar{\mathbf{r}}_N^2 = \sum_{i,j=1}^N \bar{\mathbf{r}}^i \cdot \bar{\mathbf{r}}^j$$

де \mathbf{r}^i означает перемещение нейтрона i -го поколения. Но среднее значение $\mathbf{r}^i \cdot \mathbf{r}^j$ зависит от i и j только через абсолютное значение их разности. Следовательно,

$$\overline{\mathbf{r}_N^2} = N\overline{\mathbf{r}^1^2} + 2(N-1)\overline{\mathbf{r}^1 \cdot \mathbf{r}^2} + 2(N-2)\overline{\mathbf{r}^1 \cdot \mathbf{r}^3} + \dots$$

При этом, следуя (4), получаем

$$\overline{\mathbf{r}^1^2} = 2 \int V(u, a) \frac{u^2}{p^2(u)} du, \quad (11)$$

$$\overline{\mathbf{r}^1 \cdot \mathbf{r}^k} = \frac{\iint V(u, a) V_k(u, \mathbf{v}) \frac{\mathbf{u}}{p(u)} \cdot \frac{\mathbf{v}}{p(v)} du dv}{\iint V(u, a) V_k(u, \mathbf{v}) du dv} \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (12)$$

Тогда, имея в виду, что, согласно (11) и (12), $\overline{\mathbf{r}^1^2} = 2(\overline{\mathbf{r}^1 \cdot \mathbf{r}^k})_{k=1}$, исходя из (12) и из данных выше формул для D , \bar{t} и $\overline{\mathbf{r}_N^2}$, находим

$$3\pi \frac{b^2}{\beta} \int_0^\infty V(u, a) \frac{u^2}{p(u)} du = \sum_{k=1}^\infty \overline{\mathbf{r}^1 \cdot \mathbf{r}^k}, \quad (13)$$

причем V , V_k и $\overline{\mathbf{r}^1 \cdot \mathbf{r}^k}$ даются из (6), (8) и (12).

Так как корреляция между скоростями нейтронов разных поколений быстро убывает, фигурирующие в (10) и (13) ряды хорошо сходятся.

Чтобы найти еще два уравнения для констант a , b , α , β , мы подставим (5) в (1). Левый член этого уравнения можно написать в виде SW_0 , причем

$$S = 1 - A/W_0 - (\Phi W_0)/W_0$$

относительная ошибка. При больших t ее можно разложить в ряд по отрицательным степеням t :

$$S(t, \mathbf{r}, \mathbf{u}, \mathbf{v}) = S_0(\mathbf{r}, \mathbf{u}, \mathbf{v}) + \frac{1}{t} S_1(\mathbf{r}, \mathbf{u}, \mathbf{v}) + \frac{1}{t^2} S_2(\mathbf{r}, \mathbf{u}, \mathbf{v}) + \dots$$

Естественно попытаться найти два искоемых уравнения, приравняв нулю первые два коэффициента S_0 и S_1 . Пренебрегая всеми членами, убывающими экспоненциально и вообще сильнее, чем $1/t$, находим

$$\begin{aligned} S_0 &= 1 - \int_0^\infty \int_\tau^\infty \int e^{-p(u)\tau + \alpha\sigma} \left(Q(u, \mathbf{w}) \delta(\sigma - \tau) + \sum_i R_i(\mathbf{u}, \mathbf{w}) e^{-\lambda_i(\sigma - \tau)} \right) d\tau d\sigma d\mathbf{w}, \\ S_1 &= \int_0^\infty \int_\tau^\infty \int e^{-p(u)\tau + \alpha\sigma} \left(Q(u, \mathbf{w}) \delta(\sigma - \tau) + \sum_i R_i(\mathbf{u}, \mathbf{w}) e^{-\lambda_i(\sigma - \tau)} \right) \times \\ &\times \left\{ \frac{3}{2} \sigma + \frac{1}{b^2 \beta} [(\beta \mathbf{r} - \mathbf{u} - \mathbf{v})^2 - (\beta(\mathbf{r} - \mathbf{u}\tau) - \mathbf{w} - \mathbf{v})^2] \right\} d\tau d\sigma d\mathbf{w}. \end{aligned} \quad (14)$$

Приравнять S_0 и S_1 нулю недопустимо, потому что это привело бы к значениям для a , b , α , β , зависящим от \mathbf{r} , \mathbf{u} и \mathbf{v} . Поэтому мы ограничимся приравниванием нулю только их усредненных по \mathbf{u} значений:

$$\int V(u, a) S_0(\mathbf{r}, \mathbf{u}, \mathbf{v}) d\mathbf{u} = 0, \quad \int V(u, a) S_1(\mathbf{r}, \mathbf{u}, \mathbf{v}) d\mathbf{u} = 0, \quad (15)$$

причем V определяется из (6). Подставляя (14) в (15), после интегрирования по \mathbf{w} , σ и τ , получаем

$$1 - \int V(u, a) q(u, \alpha) Q^0(u, \alpha) d\mathbf{u} = 0, \quad (16)$$

$$\int V(u, \alpha) q(u, \alpha) \left\{ \left[\frac{3}{2} q(u, \alpha) + \frac{u^2}{b^2 \beta} - 2 \frac{\beta u^2}{b^2} q^2(u, \alpha) \right] Q^0(u, \alpha) - \right. \\ \left. - 2 \frac{u^2}{b^2} q(u, \alpha) Q'(u, \alpha) - \frac{u^2}{b^2 \beta} Q''(u, \alpha) + \frac{3}{2} R(u, \alpha) \right\} du = 0, \quad (17)$$

где мы для краткости положили

$$\int v^k \left(Q(u, v) + \sum_i \frac{R_i(u, v)}{\lambda_i - \alpha} \right) dv = u^k Q^k(u, \alpha), \\ q(u, \alpha) = \frac{1}{p(u) - \alpha}, \quad R(u, \alpha) = \sum_i \frac{1}{(\lambda_i - \alpha)^2} \int R_i(u, v) dv.$$

Замечательно, что при усреднении по u из уравнения (15) выпали не только u , но также g и v , так что полученные уравнения не содержат больше никаких лишних переменных.

Уравнения (10), (13), (16) и (17) достаточны для определения a, b, α, β , т. е. для определения исходного приближения W_0 . Так как (5) является приближением для W при больших t , а $W_1 = A + \Phi W_0$ при любом выборе W_0 является приближением W при малых t , мы можем считать, что уже первая итерация $W_1 = A + \Phi W_0$, где W_0 задается выражением (5), даст хорошее приближение для W при любом t . Точность найденных этим способом решений W_0 и W_1 , конечно, зависит от вида функций p, Q и R_i . Обсуждение точности решения некоторых аналогичных кинетических уравнений, полученных этим способом дано в (5).

Другое аналогичное и, пожалуй, лучшее приближение W_0 мы могли бы получить, если потребуем удовлетворить не (5), а (6) в (1). Тогда усреднение (15) следует провести не по u при помощи $V(u)$, а по v при помощи $U(v)$. Это дает возможность обобщить (5), вводя множитель $A(u)$ или даже $A(u, t)$ и определить A , связывая W_0 и W при малых t .

Поступило
14 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Хр. Я. Христов, ДАН, 111, № 5 (1956). ² S. Chandrasekhar, Rev. Mod. Phys., 15, 1 (1943). ³ А. Ахиезер, И. Померанчук, Некоторые вопросы теории ядра, М., 1950. ⁴ L. M. Yang, Proc. Roy. Soc., 198, 94 (1949). ⁵ Chr. J. Christov, Acta phys. Hung., 6, 423 (1956).

В. З. БЛАНК и Д. В. ШИРКОВ

АСИМПТОТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРШИННОЙ ЧАСТИ В КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 15 VI 1956)

В настоящей заметке метод ренормализационной группы, использованный ранее для улучшения формул теории возмущений для функций Грина⁽¹⁾, применяется к улучшению формул для вершинной части.

В отличие от функций Грина, вершинный оператор имеет довольно сложную матричную структуру и зависит от двух 4-импульсов. В общем случае он может быть разложен по произведениям различного числа матриц Дирака. Имея в виду в дальнейшем получить асимптотические выражения для вершинного оператора в инфракрасной и ультрафиолетовой областях, ограничимся с самого начала рассмотрением в Γ^n члена, пропорционального матрице γ^n , который, очевидно, будет представлять собой скалярную функцию трех независимых скалярных аргументов p^2, q^2, k^2 ($p - q = k$), т. е.

$$\Gamma^n = \gamma^n \Gamma(p^2, q^2, k^2). \quad (1)$$

Как обычно, мультипликативный произвол вершинной функции перенесем в аргументы функции Γ , введя квадрат вспомогательного импульса, и перейдем к безразмерным аргументам:

$$\Gamma\left(\frac{p^2}{\lambda^2}, \frac{q^2}{\lambda^2}, \frac{k^2}{\lambda^2}, \frac{m^2}{\lambda^2}, e^2\right). \quad (2)$$

Рассмотрим вначале Γ как функцию p^2 , зафиксировав остальные переменные. Тогда функциональное уравнение для вершинной части можем записать в виде

$$\begin{aligned} & \Gamma(x, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0) = \\ & = \Gamma(t, y, z, u, e^2 d_l^0) \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{x}{t}, \frac{y}{t}, \frac{z}{t}, \frac{u}{t}, e^2 d(t, u, e^2), e^2 d_l^0\right)}{\Gamma\left(1, \frac{y}{t}, \frac{z}{t}, \frac{u}{t}, e^2 d(t, u, e^2), e^2 d_l^0\right)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь d_l^0 — продольная часть фотонной функции Грина, которую мы будем считать не зависящей от импульса.

Дифференциальное уравнение Ли, соответствующее уравнению (3), будет

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \ln \Gamma(x, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0) = \\ & = \frac{1}{x} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \ln \Gamma\left(\xi, \frac{y}{x}, \frac{z}{x}, \frac{u}{x}, e^2 d(x, u, e^2), e^2 d_l^0\right) \right]_{\xi=1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Интегрируя его, получаем

$$\begin{aligned} & \ln \frac{\Gamma(x, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0)}{\Gamma(x_0, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0)} = I(x, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0 | x^0) \equiv \\ & \equiv \int_{x_0}^x \frac{dx'}{x'} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \ln \Gamma\left(\xi, \frac{y}{x'}, \frac{z}{x'}, \frac{u}{x'}, e^2 d(x', u, e^2), e^2 d_l^0\right) \right]_{\xi=1}. \end{aligned} \quad (5)$$

Рассматривая теперь $\Gamma(x_0, y, z, \dots)$ как функцию y , а затем $\Gamma(x_0, y_0, z, \dots)$ как функцию z , получаем

$$\ln \frac{\Gamma(x, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0)}{\Gamma(x_0, y_0, z_0, u, e^2, e^2 d_l^0)} = I(x, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0 | x_0) + \\ + I(x_0, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0 | y_0) + I(x_0, y_0, z, e^2, e^2 d_l^0 | z_0). \quad (6)$$

Заметим, что формулы (5) и (6) значительно упрощаются, когда для определения входящего в них Γ используется второй порядок теории возмущений:

$$\Gamma_0(x, y, z, u, e^2, e^2 d_l^0) = 1 + e^2 \left[\Lambda_t \left(\frac{x}{u}, \frac{y}{u}, \frac{z}{u} \right) - \tilde{\Lambda}_t(u) \right] + \\ + e^2 d_l^0 \left[\Lambda_l \left(\frac{x}{u}, \frac{y}{u}, \frac{z}{u} \right) - \tilde{\Lambda}_l(u) \right], \quad (7)$$

и, в частности, в этом случае интегралы, содержащие Λ_l , вычисляются в явном виде.

Рассмотрим конкретный случай ультрафиолетовой асимптотики

$$|k^2| \gg |p^2|, \quad |q^2| \gg m^2 \quad (8)$$

или

$$|z| \gg |x|, \quad |y| \gg |u|.$$

Соответствующие вычисления во втором порядке теории возмущений были выполнены А. А. Абрикосовым ⁽²⁾ и В. В. Судаковым ⁽³⁾. Они получили

$$\Lambda_l = 0; \quad \Lambda_t \left(\frac{x}{u}, \frac{y}{u}, \frac{z}{u} \right) = -\frac{1}{8\pi^2} \ln \left| \frac{z}{x} \right| \ln \left| \frac{z}{y} \right|. \quad (9)$$

Здесь, как и ранее в аналогичных случаях, «массовая» переменная m выпала.

Условие (8) приводит к тому, что, в отличие от (6), интегрирование по z необходимо проводить в последнюю очередь. Окончательное выражение, симметризованное по x и y , будет

$$\ln \frac{\Gamma(x, y, z, e^2)}{\Gamma(x_0, y_0, z_0, e^2)} = 3 \left[\ln \frac{z}{z_0} - \frac{12\pi^2}{e^2} \ln \frac{d(z, e^2)}{d(z_0, e^2)} \right] + \\ + \frac{3}{2} \ln(x_0 y_0) \ln \frac{d(z, e^2)}{d(z_0, e^2)} + \frac{3}{2} \left[\ln \frac{z}{x_0} \ln \frac{d(y, e^2)}{d(y_0, e^2)} + \ln \frac{z}{y_0} \ln \frac{d(x, e^2)}{d(x_0, e^2)} \right] + \\ + \frac{3}{4} \left[\ln \frac{x_0}{x} \ln \frac{d(y, e^2)}{d(y_0, e^2)} + \ln \frac{y_0}{y} \ln \frac{d(x, e^2)}{d(x_0, e^2)} \right]. \quad (10)$$

Написанная формула справедлива при выполнении следующих условий:

$$1 - \frac{e^2}{12\pi^2} \ln z \gg e^2, \quad (11) \\ \ln z > \ln x, \quad \ln y \geq \ln x_0, \ln y_0, \ln z_0.$$

При этом $z_0, x_0, y_0 \gg u$, $\ln x_0 \sim \ln y_0$, а $\ln z_0$ не может быть много больше, чем $\ln x_0, \ln y_0$.

Заметим здесь, что при $e^2 \ln z \ll 1$ мы приходим к формуле, полученной ранее В. В. Судаковым ⁽³⁾ путем суммирования ряда существенных диаграмм Фейнмана и В. З. Бланком ⁽⁴⁾ путем приближенного решения уравнения Швингера методом собственного времени.

Перейдем теперь к инфракрасной асимптотике и рассмотрим случай, когда

$$p^2 = q^2 \rightarrow m^2, \quad k^2 < 0. \quad (12)$$

Соответствующие вычисления во втором порядке теории возмущений были выполнены А. А. Абрикосовым⁽³⁾. Он получил

$$\Lambda_l\left(\frac{x}{u}, \frac{z}{u}\right) = \frac{1}{8\pi^2} \ln \left| \frac{u}{x-u} \right|; \quad (13)$$

$$\Lambda_l\left(\frac{x}{u}, \frac{z}{u}\right) = \frac{1}{8\pi^2} \varphi\left(\frac{z}{u}\right) + \frac{1}{8\pi^2} \psi\left(\frac{z}{u}\right) \ln \left| \frac{u}{x-u} \right|; \quad (14)$$

где

$$\varphi\left(\frac{z}{u}\right) = \frac{1-2u/z}{V1-4u/z} \left(\ln \left| 1 - \frac{z}{2u} \right| \right)^2; \quad (15)$$

$$\psi\left(\frac{z}{u}\right) = \frac{2-4u/z}{V1-4u/z} \ln \left[1 - \frac{z}{2u} + \frac{|z|}{2u} \sqrt{1 + \frac{4u}{|z|}} \right] - 1. \quad (16)$$

Выполняя соответствующие интегрирования, находим

$$\begin{aligned} & \ln \frac{\Gamma(x, z, u, e^2, e^2 d_l^0)}{\Gamma(x_0, z_0, u, e^2, e^2 d_l^0)} = \\ & = \frac{e^2}{8\pi^2} \ln \left| \frac{x_0 - u}{x - u} \right| \Phi\left(\frac{z}{u}, \frac{z_0}{u}, u\right) + \frac{e^2}{8\pi^2} \Psi\left(\frac{z}{u}, \frac{z_0}{u}, \frac{x_0}{u}, u\right). \end{aligned}$$

Здесь

$$\Psi\left(\frac{z}{u}, \frac{z_0}{u}, \frac{x_0}{u}, u\right) = \int_{z_0}^z d(z', u, e^2) \left[\frac{\partial \varphi(z'/u)}{\partial z'} dz' + \ln \left| \frac{u}{x_0 - u} \right| \frac{\partial \psi(z'/u)}{\partial z'} dz' \right], \quad (18)$$

а показатель инфракрасной особенности

$$\Phi\left(\frac{z}{u}, \frac{z_0}{u}, u\right) = \int_{z_0}^z d(z', u, e^2) \frac{\partial \psi(z'/u)}{\partial z'} dz' + \psi\left(\frac{z_0}{u}\right) + d_l^0 \quad (19)$$

после небольших преобразований, при пренебрежении малыми членами порядка e^2 может быть записан в виде

$$\beta\left(\frac{k^2}{m^2}\right) = \frac{e^2}{8\pi^2} \Phi\left(\frac{k^2}{m^2}, \frac{k_0^2}{m^2}, \frac{m^2}{\lambda^2}\right) = \frac{e^2}{8\pi^2} d_l^0 - 3 \ln \left| 1 - \frac{e^2}{24\pi^2} \psi\left(\frac{k^2}{m^2}\right) \right|. \quad (20)$$

В предельном случае больших $|k^2|$, когда $(e^2/12\pi^2 \ln(k^2/m^2)) \sim 1$, получаем

$$\beta\left(\frac{k^2}{m^2}\right) = \frac{e^2}{8\pi^2} d_l^0 + 3 \ln d\left(\frac{k^2}{m^2}, e^2\right). \quad (21)$$

С другой стороны, при

$$\frac{e^2}{12\pi^2} \ln \frac{k^2}{m^2} \ll 1$$

приходим к результату:

$$\beta\left(\frac{k^2}{m^2}\right) = \frac{e^2}{8\pi^2} \left[d_l^0 + \psi\left(\frac{k^2}{m^2}\right) \right], \quad (22)$$

полученному ранее А. А. Абрикосовым⁽²⁾ путем суммирования ряда основных диаграмм Фейнмана.

Мы рассмотрели здесь основные асимптотические выражения для вершинной функции, когда Γ^n пропорциональна матрице γ^n . При учете высших порядков по e^2 может оказаться необходимым рассматривать составляющие Γ^n иной матричной структуры. Однако из проведенного

исследования вытекает, что соответствующие рассуждения могут быть распространены и на эти случаи.

Ясно также, что метод ренормализационной группы может быть применен и для более сложных функций, например, соответствующих различным процессам рассеяния.

В заключение авторы выражают глубокую признательность Н. Н. Боголюбову за ряд ценных замечаний.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова и
Математический институт им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
14 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков, ДАН, 103, 203, 391 (1955); А. А. Леогунов, ЖЭТФ, 30, 793 (1956). ² А. А. Абрикосов, ЖЭТФ, 30, 96 (1956). ³ В. В. Судаков, ЖЭТФ, 30, 87 (1956). ⁴ В. З. Бланк, ДАН, 107, 383 (1956).

Э. Г. ГОРЖЕВСКАЯ и Н. М. ПАНОВА

ФОТООБРАЗОВАНИЕ МЕДЛЕННЫХ π^- -МЕЗОНОВ НА СЛОЖНЫХ ЯДРАХ

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 25 VI 1956)

Введение. Взаимодействие фотонов с ядрами, приводящее к образованию мезонов, изучено недостаточно. Исследовались главным образом зависимость сечения фотообразования мезонов от атомного номера мишени (^{1,2}), а также энергетические и угловые распределения фото-мезонов (³). Как было показано в ряде работ (⁴⁻⁶), фотообразование мезонов на ядрах большей частью сопровождается ядерным расщеплением — «звездой». Однако до сих пор не изучались характерные особенности этого процесса. Только недавно появилась работа (⁷), несколько заполняющая этот пробел.

Настоящая работа была поставлена с целью изучения механизма фотообразования π^- -мезона на сложных ядрах. В частности, мы хотели установить, происходит ли фотообразование мезонов в сложных ядрах на одном нуклоне или же этот процесс имеет более сложный характер, а также попытаться получить данные о взаимодействии медленного мезона с ядром-остатком.

Эксперимент. В работе использовались фотоэмульсии НИКФИ типа «Р», облученные на синхротроне ФИАН пучком фотонов с $E_{\max} = 250$ Мэв. Эмульсии были пропитаны тяжелой водой, так что на них одновременно изучалось фоторождение π^- -мезонов на дейтерии (⁸).

Из обнаруженных в эмульсии ядерных расщеплений отбирались содержащие след мезона, оканчивающийся в эмульсии. В подавляющем большинстве случаев π^- -мезон, останавливаясь, давал звезду, поэтому идентификация не представляла затруднений*. Благодаря такому отбору энергия большей части мезонов не превышала 6—8 Мэв.

В каждом из случаев для мезона и частиц в звезде, сопровождающей образование мезона, определялась энергия и измерялся угол между направлением их вылета и направлением пучка фотонов. Все однозарядные частицы мы относили к протонам**. Энергия частиц, останавливающихся в эмульсии, определялась по кривым пробег — энергия, рассчитанным для наполненной эмульсии. Энергия частиц, выходящих из эмульсии, определялась по измерению плотности зерен в следе. Ядра эмульсии, на которых образовался мезон, методом «потенциального барьера» (^{6,9}) разделялись на «легкие» (C, N, O) и «тяжелые» (Ag, Br, J)***.

* Следует отметить, что след короткого мезона, когда он не дает звезды на конце, однозначно идентифицировать нельзя. Однако известно, что доля таких случаев составляет примерно 30%. Это учитывалось при определении сечений.

** То обстоятельство, что незначительная часть однозарядных частиц, которые мы считаем протонами, на самом деле может быть обусловлена дейтонами, не скажется на сделанных нами выводах.

*** При таком способе разделения возможно некоторое завышение числа тяжелых ядер на счет легких.

Результаты измерений. На площади эмульсии 830 см² было обнаружено 262 мезона, останавливающихся в эмульсии. 75 из них были отнесены к образованию π^- -мезонов на легком ядре, 163— к образованию π^- -мезона на тяжелом ядре. В 24 случаях ядро, на котором образовался мезон, не удалось идентифицировать.

Получены следующие сечения образования π^- -мезонов с энергией до 4 Мэв на легких и тяжелых ядрах эмульсии (с учетом геометрических поправок и поправок на мезоны, не дающие звезды): легкое ядро $(2,2 \pm 0,33) \cdot 10^{-29}$ см²; тяжелое ядро $(8,8 \pm 0,9) \cdot 10^{-29}$ см².

При определении сечения мы принимали, что неидентифицированные звезды делятся в том же отношении, что и идентифицированные. Указав для сравнения, что сечение образования мезонов таких энергий на дейтерии равно $(0,33 \pm 0,07) \cdot 10^{-29}$ см² *.

Таблица 1

Число лучей	0	1	2	3	4	5
Число случаев в тяжелых ядрах	50	92	20	1	0	0
Число случаев в легких ядрах	0	9	38	18	5	4

На рис. 1 и в табл. 1 представлено распределение по числу лучей звезд, сопровождающих образование π^- -мезонов на легких и тяжелых

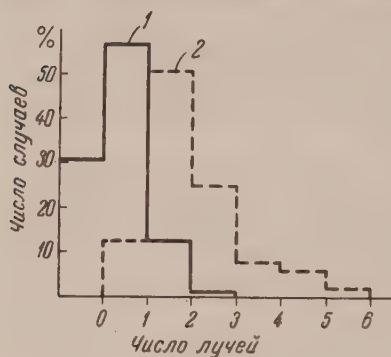


Рис. 1. Распределение по числу лучей в звездах, сопровождающих вылет мезонов из тяжелых (1) и легких (2) ядер

ядрах; следы мезонов и следы ядер отдачи не учтены. Из них видно, что во-первых, большая часть 2-лучевых звезд и практически все звезды с числом лучей больше 2 относятся к легким ядрам, и, во-вторых, что в большем числе случаев образование медленного π^- -мезона на тяжелом ядре сопровождается вылетом только одного протона. Угловое распределение этих протонов в лабораторной системе имеет заметный максимум в направлении пучка фотонов. С увеличением энергии протонов максимум становится более резким.

Обсуждение результатов и выводы. Наиболее су-

щественны следующие результаты эксперимента.

1. Установлено наличие резкого максимума в угловом распределении протонов большой энергии, сопровождающих образование фото-мезонов.

2. Определено отношение сечений образования π^- -мезонов на тяжелых и легких ядрах эмульсии в области малых энергий.

На рис. 2 для сравнения нанесено угловое распределение протонов с энергией больше 20 Мэв из тяжелых ядер и из дейтерия, сопровождающих образование π^- -мезонов с энергией меньше 10 Мэв*. Оба распределения имеют одинаковый характер, но максимум в угловом распределении протонов из дейтерия выражен более резко. Отличие полученного нами распределения от распределения протонов из дейтерия указывает на существенное влияние движения нуклонов в ядре.

На рис. 3 нанесены кривые, полученные А. М. Балдиным и А. И. Лебедевым* для углового распределения быстрых (≥ 20 Мэв) протонов, сопровождающих медленные (≤ 10 Мэв) мезоны из ядер**

* Частное сообщение.

** Распределение по импульсам нуклонов в ядре принималось гауссовским: $p(p) = (\beta/\pi)^{1/2} e^{-\beta p^2}$. Кривая $\beta = 0,745$ соответствует энергии $1/2 m\beta^2 = 14$ Мэв (¹³). Кривые рассчитаны по однонуклонной модели Лакса и Фешбаха (¹⁰).

Хорошее согласие расчетной кривой с $\beta = 0,745$ с экспериментом указывает на то, что, по крайней мере в рассматриваемых 30% случаев, фотон рождает мезон, взаимодействуя с одним из нуклонов ядра, при этом импульс фотона передается, в основном, нуклону, на котором происходит рождение мезона.

Согласно расчетам Балдина и Лебедева, доля случаев, когда при образовании медленных π^- -мезонов в первичном акте образуется протон с энергией больше 20 Мэв, составляет около 60%. В нашем эксперименте они составляют примерно 30% от всех случаев образования π^- -мезонов на тяжелых ядрах.

Характер углового распределения этих протонов указывает, что подавляющее большинство их претерпело взаимодействия с ядром. Вероятность того, что частица, образовавшаяся в любой точке ядра, вылетит без соударения, может быть получена на основе простых геометрических

ображений и зависит от радиуса ядра R и средней длины свободного пробега протона в ядерном веществе λ . Значение λ для протонов может

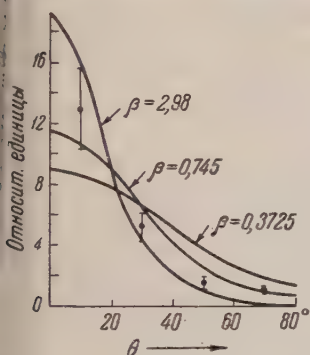


Рис. 3. Угловое распределение протонов с энергией больше 20 Мэв. Сплошными линиями нанесены кривые, рассчитанные М. Балдиным и А. И. Лебедевым в предположении однонуклонной модели и распределения импульсов по закону Гаусса

в ядрах эмульсии, по нашим данным, составляет $0,25 \pm 0,06$. По оценке Балдина и Лебедева это отношение должно было бы быть существенно ниже, если считать, что мезон испускается в виде свободной частицы в кулоновском поле точечного заряда. В этом случае даже при зависимости $A^{2/3}$ отношение должно составлять $\sigma_n/\sigma_T = 0,2 (Z_n/Z_T)^{2/3} = 0,06$,

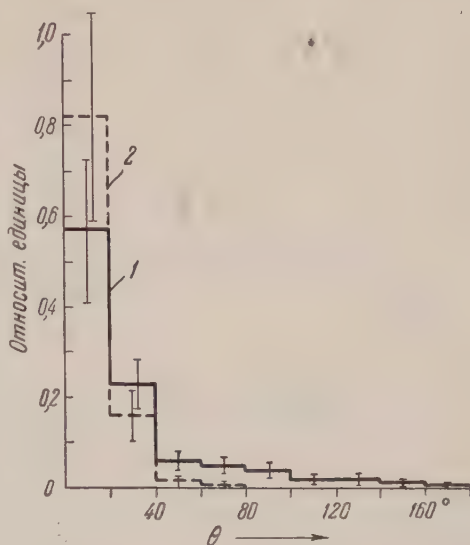


Рис. 2. Угловое распределение протонов с энергией больше 20 Мэв из тяжелых ядер (1) и из дейтерия (2)

быть получено при помощи оптической модели ^(11,14) и для энергий 20—50 Мэв составляет примерно $(2-4) \cdot 10^{-13}$ см. Для тяжелых ядер эмульсии можно считать $R = 6,7 \cdot 10^{-13}$ см. В этом случае вероятность вылета протона без взаимодействия составляет 25—40%, откуда легко видеть, что доля одиночных протонов с энергией больше 20 Мэв должна составлять 0,15—0,24 от полного числа случаев образования π^- -мезонов на тяжелых ядрах, что по порядку величины хорошо согласуется с экспериментально полученной величиной 0,3. Эффект поглощения мезонов нами не учитывался, так как свободный пробег мезонов такой малой энергии $\gg R^*$.

Полученный результат является наглядным доказательством однонуклонной модели.

Отношение сечений образования мезонов с энергией до 4 Мэв на легких и тяжелых ядрах, составляет $0,25 \pm 0,06$. По оценке наших данных, это отношение должно было бы быть существенно ниже, если считать, что мезон испускается в виде свободной частицы в кулоновском поле точечного заряда. В этом случае даже при зависимости $A^{2/3}$ отношение должно составлять $\sigma_n/\sigma_T = 0,2 (Z_n/Z_T)^{2/3} = 0,06$,

* По данным ⁽¹²⁾ для мезона с энергией порядка 20 Мэв длина свободного пробега достигает $16 \cdot 10^{-13}$ см.

где 0,2 есть отношение кулоновских факторов. Это расхождение можно, по видимому, объяснить наличием специфического взаимодействия мезона

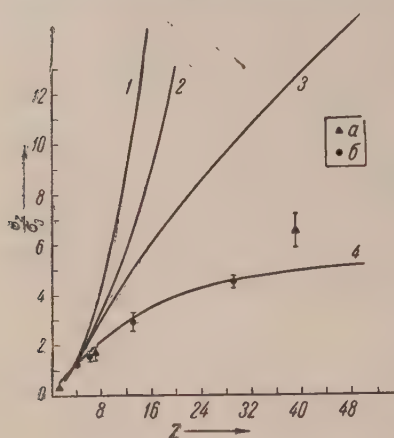


Рис. 4. Зависимость сечения образования мезонов малых энергий от атомного номера ядра. а — наши данные, б — данные работы В. М. Поповой, Н. Г. Семашко и Ф. Р. Ягудиной

хуже соответствуют этой кривой. Однако это отклонение легко объясняется неточностью в идентификации, о которой уже упоминалось.

В заключение выражаем благодарность чл.-корр. АН СССР В. И. Векслеру за руководство работой и А. М. Балдину за ценные указания и обсуждение полученных результатов.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
20 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. F. Mozely, Phys. Rev., 80, 493 (1951). ² K. M. Littauer, D. Walker, Phys. Rev., 82, 746 (1951). ³ J. Steinberger, A. S. Bishop, Phys. Rev., 86, 171 (1952). ⁴ R. D. Miller, Phys. Rev., 82, 260 (1951). ⁵ S. Kikuchi, Phys. Rev., 86, 41 (1952). ⁶ Р. М. Лебедев, Диссертация, ФИАН, 1953. ⁷ E. P. George, Proc. Phys. Soc., 69, № 434 А, 110 (1956). ⁸ М. И. Адамович, Г. В. Кузьмичева, В. Г. Ларионова, С. П. Харламов, ДАН, 102, 715 (1955). ⁹ М. G. K. Menon, H. Muirhead, O. Rochat, Phil. Mag., 41, № 317, 583 (1950). ¹⁰ M. Lax, H. Feschbach, Phys. Rev., 81, 189 (1951). ¹¹ A. M. Lane, C. F. Wandel, Phys. Rev., 98, 1524 (1955). ¹² F. H. Tenney, J. Tinlo, Phys. Rev., 92, 974 (1953). ¹³ K. A. Bruecner, R. J. Eden, N. C. Francis, Phys. Rev., 98, 1445 (1955). ¹⁴ R. Serber, Phys. Rev., 72, 1114 (1947).

* Частное сообщение В. М. Поповой, Н. Г. Семашко и Ф. Р. Ягудиной.

Л. Н. ДЕРЮГИН и Г. Х. ФРИДМАН

РЕЗОНАНСНЫЕ КРИВЫЕ ДВОЙНОГО РЕЗОНАНСА НА ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 6 IX 1956)

Ранее ⁽¹⁾ было показано, что на отражательных диффракционных решетках, особенно в случае канавок, узких по сравнению с длиной волны $a \ll \lambda/2$ или $ka \ll 1$, где $2a$ — ширина канавок, λ — длина волны, $k = 2\pi/\lambda$, l — период решетки, $\alpha = a/l$, имеют место своеобразные резонансные явления. В частности, был выявлен особый случай поверхностного резонанса B , когда амплитуды скольльзящих волн и полей в канавках во много раз превышают поле падающей волны. Это явление целесообразно назвать двойным резонансом, так как это резонанс по двум параметрам n и θ (где $\theta = 2\pi h/\lambda$, h — глубина канавок). Он наступает (в случае нормального падения) при периоде $2l$, равном целому числу длин волн λ , и глубине канавок h несколько большей, чем полволны. Однако ход амплитуд скольльзящих волн и полей в канавках при отклонении от резонанса, т. е. резонансные кривые, не был исследован. Ниже дается приближенное решение этого вопроса.

Для анализа резонансных кривых целесообразно исходить не из систем уравнений для волн в канавках ^(1,2), а из системы уравнений для парциальных волн в верхней полуплоскости, полученной в работе ⁽³⁾. Последняя система отличается тем, что не имеет особенностей в точках поверхностного резонанса. Это значительно облегчает анализ. Кроме того, так как в момент двойного резонанса (и вблизи его) основное резонансное поле складывается из скольльзящих волн, амплитуды которых во много раз больше амплитуд остальных волн в верхней полуплоскости, то при приближенном исследовании можно аппроксимировать поле в верхней полуплоскости только скольльзящими, падающей и отраженной волнами.

Уравнения (17) работы ⁽³⁾ запишем в следующем виде:

$$\sum_{m=0}^{\infty} \bar{u}_{nm} H_m = b_n \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad (1)$$

где H_m — амплитуда m -й парциальной волны в верхней полуплоскости (амплитуда падающей волны принята равной единице),

$$\bar{u}_{nm} = \begin{cases} 2u_{nm} & n \neq m, m \neq 0; \\ 2u_{mm} - \pi\delta_m, & n = m, \end{cases} \quad \bar{u}_{n0} = \begin{cases} u_{n0}, & n \neq 0, m = 0, \\ u_{00} - \pi\delta_0, & n = 0, \end{cases}$$

$$b_n = \begin{cases} -(u_{00} + \pi\delta_0), & n = 0, \\ -u_{n0}, & n \neq 0, \end{cases} \quad \delta_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{k}\right)^2}.$$

В свою очередь

$$u_{nm} = \frac{t_0}{\pi\alpha} \frac{\sin n\pi\alpha \sin m\pi\alpha}{nm} + 2 \frac{nm}{\pi\alpha} \sin n\pi\alpha \sin m\pi\alpha \sum_{i=1}^{\infty} \frac{t_i}{(n^2 - p_i^2)(m^2 - p_i^2)}. \quad (2)$$

Для случая узких канавок ($k\alpha \ll 1$) и для значений n и m порядка k выражение (2) для u_{nm} упрощается и с точностью до $k\alpha$ приводит к виду:

$$u_{nm} = j \operatorname{tg} \theta \cdot \pi \alpha - j \cdot 2 \frac{\pi \alpha^4}{k} n^2 m^2 \sigma, \quad \sigma = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^3} = 1,18.$$

Для принятой аппроксимации система (1) сводится к системе двух уравнений с двумя неизвестными: H_0 (амплитуда зеркальной волны), H_1 (амплитуда скользящей волны).

Решение системы, учитывая (3), запишется так:

$$H_1 = \frac{2\pi u_{10}}{(2u_{11} - \pi \delta_1)(u_{00} - \pi) - 2u_{01}},$$

$$H_0 = -1 - \frac{2\pi(2u_{11} - \pi \delta_1)}{(2u_{11} - \pi \delta_1)(u_{00} - \pi) - 2u_{01}^2}.$$

Рассмотрим случай поверхностного резонанса, когда $2l = \lambda$ ($k = 1$), найдем θ_{opt} , при которой H_1 достигает максимума по модулю, т. е. наступает двойной резонанс. Учитывая, что $k = 1$ (следовательно, $\delta_1 = 0$), и подставив (3) в (4), получим:

$$H_1 = \frac{1}{-\left(1 - \frac{2\alpha^3 \sigma}{\operatorname{tg} \theta}\right) - j \cdot 2\alpha^4 \sigma}.$$

Отсюда видно, что

$$H_{1 \max} = j \frac{1}{\alpha^4 \cdot 2\sigma}$$

и

$$H_0 = -1 \quad \text{при} \quad \operatorname{tg} \theta_{\text{opt}} = \alpha^3 \cdot 2\sigma. \quad (6)$$

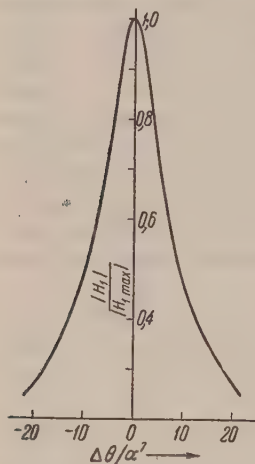


Рис. 1. Зависимость $|H_1|/|H_{1 \max}|$ от глубины при $2l = \lambda$.

Этот результат отличается от полученного в (5) только постоянным множителем, что можно отнести за счет неточности аппроксимации поля в верхней полуплоскости.

Выясним ход резонансного поля при удалении от двойного резонанса, т. е. при отклонении k от 1 и θ от θ_{opt} .

Рассмотрим три случая:

А. Зависимость H_1 от $\Delta\theta$ при $k = 1$, т. е. от глубины канавок при оптимальном периоде.

Учитывая малость α и $\Delta\theta$, имеем $\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg}(\theta_{\text{opt}} + \Delta\theta) = \alpha^3 \cdot 2\sigma + \Delta\theta$. Подставив это выражение в (5), после ряда преобразований получим:

$$\frac{|H_1|}{|H_{1 \max}|} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{\Delta\theta}{\alpha^7 \cdot 4\sigma^2}\right]^2}}. \quad (7)$$

График (7) приведен на рис. 1. Из формулы и графика видно, что резонансное поле очень резко зависит от $\Delta\theta$. Например, ширина резонансной кривой на уровне 0,7 пропорциональна α^7 ($\Delta\theta_{0,7} \sim \alpha^7$).

Форма кривой такая же, как и у обыкновенного колебательного контура. Однако здесь нет обычного для резонансных явлений соотношения обратной пропорциональности между шириной резонансной кривой и амплитудой резонансного поля. В данном случае $\Delta\theta_{0,7} \sim \alpha^7$, а $|H_{1 \max}| \sim 1/\alpha^4$. Это можно объяснить изменением связи между резонансным полем решетки и полем падающей волны при отклонении θ от θ_{opt} .

Б. Зависимость H_1 от Δk при $\theta = \theta_{\text{opt}}$, т. е. от периода при оптимальной глубине канавок.

Так как $\delta_1 = \sqrt{1 - (1/k)^2}$, то для $k = 1 + \Delta k$ и малых Δk имеем $\delta_1 = \sqrt{2\Delta k}$. Учитывая последнее и то, что $\text{tg } \theta_{\text{opt}} = \alpha^3 \cdot 2\sigma$, подставив (3) (4), после ряда преобразований получим с точностью до более высоких степеней α :

$$\frac{|H_1|}{|H_{1\text{max}}|} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\Delta k}{\alpha^{16} \cdot 32\sigma^4}}} & \text{при } \Delta k > 0, \\ \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{|\Delta k|}{\alpha^{16} \cdot 32\sigma^4}}} & \text{при } \Delta k < 0. \end{cases} \quad (8)$$

График (8) приведен на рис. 2. Как видно из формулы и графика, зависимость резонансного поля от изменения периода, еще более резкая ($\Delta k_{0,7} \sim \alpha^{16}$), чем от глубины ($\Delta \theta_{0,7} \sim \alpha^7$). Кроме того, эта кривая существенно отличается от обычных резонансных кривых по форме: она несимметрична, имеет острую вершину с вертикальной касательной и медленно приближается к нулю. Ширина резонансной кривой не связана с амплитудой резонансного поля обратно пропорциональной зависимостью, так как $\Delta k_{0,7} \sim \alpha^{16}$, а $|H_{1\text{max}}| \sim 1/\alpha^4$. Эти различия являются следствием особого характера резонанса на отражательной решетке, так как при изменении Δk меняется структура поля в верхней полуплоскости и его связь с полем падающей волны. Правая ветвь кривой ($\Delta k > 0$) соответствует превращению скользящей плоской волны в плоскую волну, отраженную под углом к решетке. Левая ветвь ($\Delta k < 0$) соответствует превращению скользящей плоской волны в плоскую неоднородную волну.

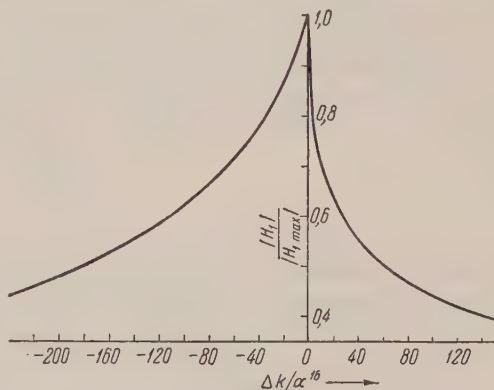


Рис. 2. Зависимость $|H_1|/|H_{1\text{max}}|$ от относительного периода при $\theta = \theta_{\text{opt}}$

В. Зависимость H_1 от $\Delta \lambda$ при $h = h_{\text{opt}}$ и $2l = \lambda_0$, т. е. от частоты при оптимальных (и фиксированных) глубине и периоде.

При изменении λ меняются одновременно и $\theta = 2\pi h/\lambda$ и $k = 2l/\lambda$. Но в связи с тем, что зависимость H_1 от Δk значительно более резкая ($\Delta k_{0,7} \sim \alpha^{16}$), чем от $\Delta \theta$ ($\Delta \theta_{0,7} \sim \alpha^7$), то с точностью до более высоких степеней α можно считать, что при изменении λ меняется только k , а $\theta = \theta_{\text{opt}}$. Следовательно, все сказанное в пункте Б равным образом относится и к данному случаю. Только при использовании (8) и графика рис. 2 следует учитывать, что $\Delta k = -\Delta \lambda/\lambda$.

В заключение отметим, что, используя полученные результаты, можно через уравнения связи работы (3) получить резонансные кривые и для полей в канавках.

Поступило
27 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Н. Дерюгин, ДАН, 94, № 2, 203 (1954). ² Л. Н. Дерюгин, ДАН, 93, № 6, 1003 (1953). ³ Л. Н. Дерюгин, ДАН, 87, № 6, 913 (1952).

В. И. КАРПМАН и И. З. ФИШЕР

ОБ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ В МЕТАЛЛАХ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 5 X 1956)

1. В работе ⁽¹⁾ изучалось время жизни позитрона в различных средах. Для металлов было установлено, что аннигиляция двухфотонная и что существует только одно время жизни, слабо зависящее от сорта металла. Для всех исследованных металлов было найдено $\tau \sim 1 \div 2 \cdot 10^{-10}$ сек. Обсуждая возможность интерпретации полученных ими опытных данных для металлов, как результат непосредственной аннигиляции позитронов на свободных электронах, авторы ⁽¹⁾ приходят к следующей оценке для τ :

$$\tau = (\pi r_0^2 c N)^{-1}, \quad (1)$$

где $r_0 = e^2/mc^2$ и N — плотность свободных электронов. Вычисленные отсюда значения τ на 1—2 порядка превосходят опытные данные. С другой стороны, экспериментальные значения τ очень близки ко времени жизни пара-позитрония. Отсюда было сделано заключение, что замедленный позитрон в металле аннигилирует, предварительно связываясь в позитроний с одним из свободных электронов.

В работе ⁽²⁾ также исключается возможность аннигиляции в металлах без образования позитрония.

В настоящей заметке будет показано, что правильный расчет времени жизни позитрона, непосредственно аннигилирующего на свободных электронах, приводит к вполне удовлетворительному согласию с экспериментальными данными. Образование же позитрония в металле крайне маловероятно.

2. Наличие большого числа свободных электронов должно вызвать сильное экранирование кулоновского поля любого положительного заряда, введенного в металл. Так как время релаксации для взаимодействия электронов между собой наверняка не больше времени релаксации для взаимодействия электронов с решеткой ($\sim 10^{-13}$ сек. при комнатных температурах), то для позитрона, живущего в металле $\sim 10^{-10}$ сек., экранирование можно считать равновесным. Тогда в приближении Дебая — Хюккеля радиус экранирования для вырожденного электронного газа равен ⁽³⁾

$$r_D = \frac{V\pi}{2} \left(\frac{\hbar^2}{me^2} \right)^{1/2} (3\pi^2 N)^{-1/3}, \quad (2)$$

и поэтому для отношения радиуса позитрония в вакууме $r_p = 2\hbar^2/me^2$ к радиусу экранирования находим

$$\frac{r_p}{r_D} = \frac{4\pi}{V\pi} \left(\frac{\hbar^2}{me^2} \right)^{1/2} (3\pi^2 N)^{1/3}. \quad (3)$$

Полагая $N = \nu \cdot 10^{22}$, где $\nu \sim 1 \div 10$, получим $(r_p/r_D) = 1,4 \nu^{1/3}$. Таким образом, $r_p \gg r_D$, и образование в металле позитрония в таком виде, как

и существует в вакууме, невозможно. Более того, представляется весьма правдоподобным, что связанные состояния электрона в столь сильно экранированном кулоновском поле вообще невозможны (см. также (4), стр. 112). Если даже допустить, что связанное состояние могло бы образоваться, то экранирование привело бы к столь сильному размазыванию волновой функции относительного движения компонент позитрония, что его время жизни было бы много больше вакуумного значения $\tau \sim 10^{-10}$ сек.

Поэтому естественнее принять, что аннигиляция позитрона в металле происходит без образования позитрония, непосредственно на одном из свободных электронов. Что касается возможности аннигиляции позитрона на электронах атомных остовов, то ею можно пренебречь, в соответствии с данными работы (5).

3. В работе (6) было показано, что за время $\tau \sim 10^{-13}$ сек. позитроны в металле тормозятся до тепловых скоростей. Поэтому скорости подавляющей части свободных электронов значительно больше скорости способного аннигилировать позитрона. Ввиду этого можно приближенно считать относительную скорость пары электрон — позитрон при больших расстояниях между ними равной скорости электрона относительно решетки v . Тогда эффективное сечение аннигиляции без учета кулоновского взаимодействия электрона и позитрона, усредненное по ориентациям спинов частиц, будет равно (7)

$$\sigma = \frac{\pi r_0^2 c}{v}. \quad (4)$$

Отсюда легко вытекает приведенная выше формула (1), использованная в (1). Но поскольку основную роль при аннигиляции играют медленные электроны, то существенно учесть взаимодействие электрона с позитроном. При этом взаимодействие можно приближенно считать чисто кулоновским, пренебрегая экранированием свободными электронами, так как эффективное сечение аннигиляции определяется волновой функцией относительного движения электрона и позитрона при $r = 0$, а на очень малых расстояниях экранирование несущественно. Тогда учет взаимодействия приводит к необходимости дополнить правую часть (4) множителем, равным отношению квадратов модулей волновых функций электрона в кулоновском поле и свободного, взятых в точке нахождения позитрона (8) (см. также (9), стр. 497). Вместо (4) тогда получим (см. там же)

$$\sigma = \frac{2\pi^2 r_0^2 c^2 \alpha}{v^2} \left[1 - \exp\left(-\frac{2\pi\alpha c}{v}\right) \right]^{-1}; \quad \alpha = \frac{1}{137}. \quad (5)$$

Но легко видеть, что, даже при v , равном скорости электрона на поверхности Ферми, экспонента в (5) исчезающе мала, так что окончательно будем иметь

$$\sigma = 2\alpha \left(\frac{\pi r_0 c}{v} \right)^2 = 2\alpha^3 \left(\frac{\pi \hbar}{mv} \right)^2, \quad (6)$$

где m — истинная масса электрона.

4. Вероятность аннигиляции позитрона в единицу времени на электронах, имеющих на бесконечности скорости от v до $v + dv$, будет равна

$$d\omega = (\sigma v) \cdot 2 \left(\frac{\mu}{2\pi \hbar} \right)^3 d^3 v, \quad (7)$$

где μ — эффективная масса электрона. Полная вероятность аннигиляции в единицу времени ω получится интегрированием (7) по объему в пространстве скоростей, ограниченному поверхностью Ферми. Считая последнюю сферической и μ слабо зависящей от скорости, получим после интегрирования с учетом (6):

$$\omega = \frac{\alpha^3 \mu^3}{\hbar m^2} v_0^2, \quad (8)$$

где v_0 — скорость электрона на поверхности Ферми. Если выразить N через концентрацию свободных электронов $(^{10},^{11})$

$$N = \frac{8\pi m}{3\mu} \left(\frac{\mu v_0}{2\pi\hbar} \right)^3, \quad (9)$$

то вместо (8) получим

$$\omega = \frac{\pi^2 \alpha^3 \hbar}{m} \left(\frac{\mu}{m} \right)^{5/3} \left(\frac{3N}{\pi} \right)^{2/3}. \quad (10)$$

Отсюда имеем для среднего времени жизни позитрона в металле

$$\tau = \frac{1}{\omega} = \frac{m}{\pi^2 \alpha^3 \hbar} \left(\frac{m}{\mu} \right)^{5/3} \left(\frac{\pi}{3N} \right)^{2/3}. \quad (11)$$

Обозначая опять $N = \nu \cdot 10^{22}$ и подставляя значения постоянных, найдем окончательно

$$\tau = 5,0 \left(\frac{m}{\mu} \right)^{5/3} \nu^{-2/3} \cdot 10^{-10} \text{ сек.} \quad (12)$$

5. Полагая в (12) $\mu \approx m$ и $\nu \sim 5$, получим $\tau \sim 1-2 \cdot 10^{-10}$ сек., в соответствии с экспериментальными данными. Дальнейшее уточнение числовой оценки для τ затруднительно как по причине незнания точного значения μ , так и в связи с недостаточным знанием истинной плотности свободных электронов для конкретных металлов. Определение N из соображений числа электронов, приходящихся на один атом, не может считаться обоснованным.

Для числовой иллюстрации результата (12) воспользуемся данными для N и μ , имеющимися в $(^{10},^{11})$. В этих работах интересующие нас величины определены по оптическим данным и по электронной части теплотемкости для четырех металлов: Al, Cu, Ag, Au. Итоги соответствующего подсчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

	$\nu \cdot 10^{-22}$	μ/m	$\tau_{\text{теор}} \cdot 10^{-10} \text{сек.}$	$\tau_{\text{эксп}} \cdot 10^{-10} \text{сек.}$
Al	5,4	1,7	0,61	$1,5 \pm 0,3$
Cu	3,3	2,4	0,96	$1,2 \pm 0,5$
Ag	5,7	1,05	1,6	$1,5 \pm 0,6$
Au	5,1	1,05	1,6	$1,2 \pm 0,3$

Следует, однако, иметь в виду, что использованные в $(^{10},^{11})$ исходные данные для расчета N недостаточно надежны, как это отмечают сами авторы, и поэтому обсуждение имеющихся в табл. 1 небольших расхождений между $\tau_{\text{теор}}$ и $\tau_{\text{эксп}}$ в настоящее время невозможно. Кроме того надо учесть, что большей точности, помимо того, и нельзя требовать от модели свободных электронов.

Наконец, отметим, что из самого способа получения результата (11) следует, что для двухфотонной аннигиляции позитронов в металлах должна отсутствовать температурная зависимость τ и что невозможно появление двух или более времен жизни (в отличие от непроводящих сред). Эти обстоятельства находятся в соответствии с экспериментальными фактами $(^1)$.

Авторы пользуются возможностью выразить благодарность чл.-корр. АН СССР В. Л. Гинзбургу, который обратил их внимание на затронутый вопрос и сделал интересные замечания при обсуждении результатов.

Минский педагогический институт и
Белорусский государственный университет
им. В. И. Ленина

Поступило
17 VI 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. Bell, R. Graham, Phys. Rev., **90**, 644 (1953). ² W. Dixon, L. Traipor, Phys. Rev., **97**, 733 (1955). ³ Л. Ландау, Е. Лифшиц, Статистическая физика, М., 1951. ⁴ Н. Мотт, Р. Герни, Электронные процессы в ионных кристаллах, ИЛ, 1950. ⁵ S. De Benedetti et al., Phys. Rev., **77**, 205 (1950). ⁶ G. Garwin, Phys. Rev., **91**, 1571 (1953). ⁷ А. Ахиезер, В. Берестецкий, Квантовая электродинамика, М., 1953. ⁸ А. Сахаров, ЖЭТФ, **18**, 631 (1948). ⁹ Л. Ландау, Е. Лифшиц, Квантовая механика, М., 1948. ¹⁰ В. Гинзбург, ДАН, **97**, 999 (1954). ¹¹ В. Гинзбург, Г. Мотулевич, Усп. физ. наук, **55**, 469 (1955).

В. С. КОМЕЛЬКОВ и Д. С. ПАРФЕНОВ

РАСШИРЕНИЕ КАНАЛА ИСКРЫ В ВОЗДУХЕ ПРИ ТОКАХ ОКОЛО $2 \cdot 10^6$ АМПЕР

(Представлено академиком А. П. Александровым 21 VIII 1956)

1. Исследуемый искровой канал возникал в воздушном промежутке при разрядке ударного контура токов, состоящего из 48 конденсаторов рабочим напряжением 50 кв, общей емкостью 132 μ ф*. Исследования производились при напряжении контура 40 кв, что позволяло получать ток в искре до $1,7 \cdot 10^6$, а с начальной крутизной 10^{12} а/сек. При напряжении контура 50 кв ток достигал $2 \cdot 10^6$ а. Ток измерялся с помощью пояса Роговского и двухлучевого осциллографа ОК-17М. Для измерения напряжения использовался смешанный делитель, подключаемый параллельно электродам, выполненным из двух медных полусфер, разделенных промежутком 30 мм. В одной из них имелось отверстие с дополнительным электродом для возбуждения разряда импульсом, подаваемым от скоростного фоторегистратора. Фоторегистратор ИХФ имеет зеркальце, вращаемое электромотором, объективы и щель, с помощью которой из изображения канала искры примерно в середине вырезывался небольшой участок, развертываемый на фотопленку со скоростью $3,0 \cdot 10^5$ см/сек. Каждая точка изображения фиксировалась с экспозицией $3 \cdot 10^{-8}$ сек. Фоторазвертки оказались недостаточными для анализа явлений, возникающих при быстрых несимметричных расширениях канала, и их пришлось дополнить кадровыми снимками, получаемыми с помощью ячеек Керра. Экспозиция каждого снимка составляла 0,2 μ сек. Данные, полученные обоими способами, хорошо согласуются.

Наиболее интересными для исследования были начальные фазы процесса (до 10 μ сек). Их съемка ячейками Керра сильно затруднялась засвечиванием пленок последующими стадиями явления. Фон свечения удалось снизить путем применения электровзрывного затвора, перекрывающего световое поле ячеек спустя 15 μ сек после пробоя промежутка.

Связь керрограмм с током в канале устанавливалась путем одновременной записи осциллографом тока и напряжения, появляющегося на одной из ячеек в момент фотосъемки.

2. В отличие от монотонного расширения канала, наблюдавшегося при сравнительно малых начальных крутизнах тока $10^9 \div 10^{10}$ а/сек. (1^{-5}), в нашем случае при расширении канала наблюдаются четыре характерные фазы, которые легко различить из рис. 1 и 2, представляющих собой схематические копии фоторазверток и керрограмм.

В первой фазе, длящейся иногда до 0,7 μ сек., расширение канала происходит со скоростью более $2 \cdot 10^6$ см/сек. Затем скорость падает до $4 \cdot 10^5$ см/сек. Плотность тока в этой стадии достигает наибольших значений за весь разряд (10^7 а/см² и более), наблюдавшихся ранее только при электрическом взрыве проволок. Канал разряда в первой фазе имеет одну видимую границу.

* Работа выполнена в 1954—1955 гг.

Во второй фазе появляется новая размытая граница, отчетливо видимая на развертках и керрограммах во внутренней зоне разряда. Если границы внешней зоны на фоторазвертке являются прямым продолжением границ разряда в первой фазе и распространяются с той же скоростью, то границы внутренней зоны вначале почти неподвижны и только спустя $0,5 \div 1,0 \mu\text{сек}$ начинают двигаться с нарастающей скоростью. В интервале $1,5 \div 2,0 \mu\text{сек}$ внешняя и внутренняя зоны вновь соприкасаются.

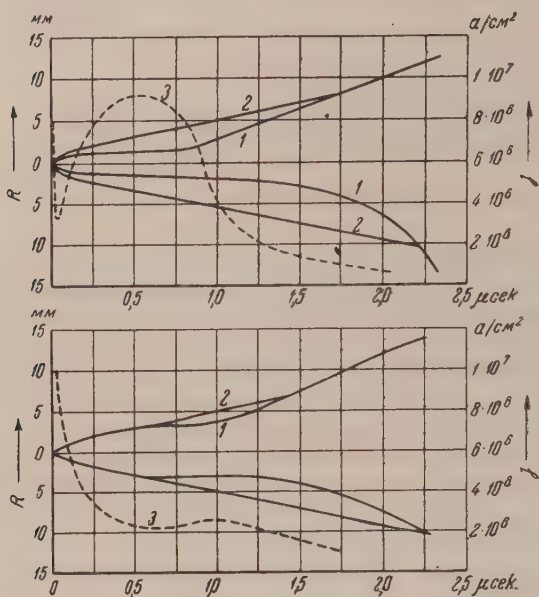


Рис. 1. Фоторазвертки каналов искрового разряда. $P = 1 \text{ атм}$; $U_{\text{раб}} = 10 \text{ кВ}$; $\delta = 30 \text{ мм}$. 1 — внутренняя зона разряда; 2 — внешняя зона разряда; 3 — плотность тока во внутренней зоне разряда

Из керрограмм (рис. 2А) видно, что внутренний шнур сильно изгибается, в то время как внешняя зона сохраняет цилиндрическую симметрию вплоть до момента слияния обеих зон. Полагая, что ток течет преимущественно во внутренней яркой светящейся зоне, можно найти плотность тока в ней. Она достигает величины $(2,5 \div 9,0) \cdot 10^6 \text{ а/см}^2$.

Соприкосновение внутренней и внешней границ дает начало своеобразному явлению, которое развивается в 3-й фазе. В местах соприкосновения образуются очаги возмущений (ударные волны), распространяющихся во всех направлениях с начальной скоростью $(0,8 \div 1,2) \cdot 10^6 \text{ см/сек}$. Через $2 \div 3 \mu\text{сек}$ скорость волн падает до $5 \cdot 10^5 \text{ см/сек}$. Прозрачность газа на границе волн возмущений при этом уменьшается, что затрудняет дальнейшее наблюдение внутренней структуры канала. О внешних границах ка-

нала в этот период можно судить по рис. 2Б, из которого видно, что цилиндрическая симметрия канала почти исчезает, а его изгибы становятся все более резкими.

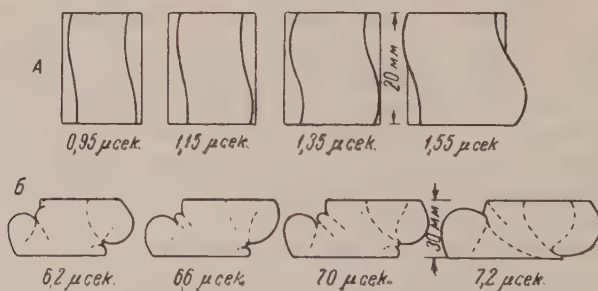


Рис. 2. Схематические изображения канала разряда, сфотографированного ячейками Керра

Далее, канал расширяется со все уменьшающейся скоростью (четвертая фаза), достигающей на 60-й микросекунде $2,2 \cdot 10^5 \text{ см/сек}$. Диаметр канала к этому времени достигает 12 см. Скорость расширения канала постепенно уменьшается, колеблясь около среднего значения. Период ее колебаний близок к периоду тока $\tau = 18 \mu\text{сек}$.

Гок в разряде имеет форму затухающей синусоиды (рис. 3) на протяжении всех четырех фаз расширения канала. Напряжение (рис. 3) и продольные градиенты в разрядном промежутке поддерживаются аномально высокими (сравнительно с дугowymi) на протяжении 6—7 μ сек. В начальный момент градиенты достигают 5 ÷ 6 кв/см (за вычетом индуктивной составляющей), а к концу четверти периода падают до 0,5 ÷ 1,0 кв/см.

3. Первая фаза разряда, описанная выше, отличается от начальных фаз ранее исследованных менее мощных искр только повышенными скоростью расширения канала и плотностью тока, феноменологическая картина расширения канала в мощных разрядах остается такой же. В первый период фронт ударной волны и границы высокотемпературной зоны практически совпадают (^{2,3}). Отрыв их

друг от друга возникает во второй стадии, когда собственное магнитное поле тока на границе канала и давление, оказываемое им на ионизованные частицы, достигают $4 \cdot 10^5$ эрст. и $5 \cdot 10^4$ атм, соответственно.

Отрыв ударной волны означает также, что проводимость за ее фронтом слишком мала для того, чтобы обеспечить протекание больших токов контура. В нашем случае при скорости волны $4 \cdot 10^5$ см/сек температура на фронте, найденная из известных соотношений (⁶), не превышает $9 \cdot 10^4$ °К, т. е. достаточно высока для возбуждения свечения и частичной ионизации газа, но слишком мала для создания требуемой проводимости. Очевидно, что высокотемпературной зоной, по которой течет основной ток, является внутренняя зона разряда, сжимаемая магнитным полем. Среднюю температуру этой зоны возможно определить из условий равновесия магнитного и газокинетического давлений и уравнения Саха. Как показал Шлютер (⁷), из условий равновесия вытекает, что

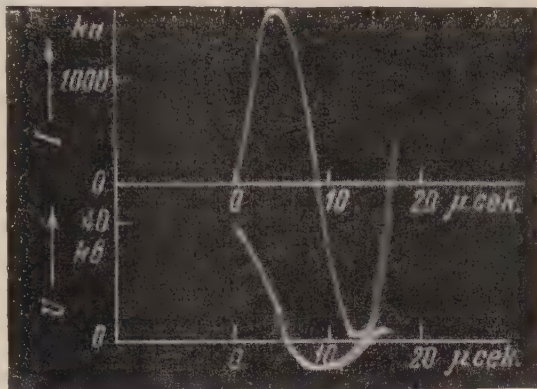


Рис. 3. Осциллограммы тока в разряде и напряжения на искровом промежутке

$$T = 1,56 \cdot 10^9 \frac{I^2}{N_i} \text{ эв,}$$

где T — средняя температура газа в вольтах,

I — ток в разряде в амперах;

N_i — число ионов и электронов на единицу длины токового шнура.

Решая графически это уравнение с уравнением Саха, дающим зависимость $N_i = f(T)$, найдем, что температура газа (в расчете на азот) составляет 17 и 33 эв для случаев рис. 1А и 1Б, соответственно (для моментов времени 0,8 и 1 μ сек). При подсчетах предполагалось, что плотность газа в шнуре оставалась такой же, как и в невозмущенной среде. Так как плотность газа за фронтом в действительности значительно меньше, то полученные значения следует рассматривать как нижний предел возможных температур.

Оценка средней температуры внутренней зоны по балансу энергии менее точна как из-за погрешностей измерения продольных градиентов в канале, так и из-за допущений, неизбежных при подсчетах энергии, идущей на излучение, ионизацию, нагрев и диссоциацию газа (энергией ударной волны можно пренебречь). Последние три составляющие могут быть определены в том же приближении, что и выше. Для подсчета энергии излучения

необходимы данные о глубине, прозрачности и температуре поверхностного слоя излучения, определение которых представляет собой самостоятельную, сложную задачу. Грубая косвенная оценка температуры излучающей поверхности может быть произведена по скорости ударных волн, образующихся при соприкосновении внутреннего шнура с холодным газом у наружной границы канала (третья фаза); она составляет 18 эв при скорости фронта волны 10^6 см/сек.

Плотное свечение газа, возникающее при касании двух зон, по всей вероятности, связано с диссоциацией азота и образованием его окислов, что опять-таки указывает на поверхностные температуры более 7 эв.

При температуре поверхностного слоя порядка 10 эв максимум излучения окажется сдвинутым в сторону коротковолнового излучения ($\lambda < 300 \text{ \AA}$), которое будет полностью поглощаться внутри канала. Возможность такого поглощения установлена Швикером и др. ⁽⁸⁾ на волнах с $\lambda = 1000 \text{ \AA}$.

Естественно, что запертое излучение может не учитываться в уравнении баланса. Если принять этот вывод, то мы получим температуру в канале в 3–5 раз большей найденных выше величин, которые, видимо, ближе к действительным.

Рост температуры токового шнура прекращается по мере того, как спадает крутизна тока и канал, расширяясь, вовлекает во внутреннюю зону новые, более холодные, частицы.

Причиной расширения могут быть: 1) диффузия горячих частиц из центральных областей токового шнура, 2) ионизация наружных слоев газа излучением разряда; 3) пробой вдоль канала по слою возбужденных и частично ионизованных частиц.

В конечном счете действие всех этих факторов сводится к расширению зоны проводимости. Какой из этих процессов преобладает, — сказать трудно. Однако остается несомненным, что магнитное поле разряда, затормаживая процесс расширения канала, позволяет нагреть газ до температур более высоких, чем это когда-либо наблюдалось.

С ростом магнитного поля возрастает неустойчивость канала. Она заметна уже во второй фазе разряда, когда канал, искривляясь, приобретает форму винтовой линии. Односторонние «выпучивания», возникающие в третьей фазе, усугубляют неустойчивость и извилистость канала. Проявление неустойчивости становится понятным, если учесть, что любая асимметрия (искривление начальной траектории пробоя, распределение токов внутри шнура, случайные флуктуации проводимости и т. д.) усиливается вследствие действия магнитного поля, создающего давление на шнур порядка 10^4 кГ/см.

Авторы выражают благодарность Б. П. Сурнину, выполнившему съемки канала искры ячейками Керра.

Поступило
26 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. С. Абрамсон, Э. С. Маршак, ЖТФ, 12, 632 (1942). ² И. С. Абрамсон, Н. М. Гегечкори, С. И. Драбкина, С. Л. Мандельштам, ЖЭТФ, 17, 862 (1947). ³ Н. М. Гегечкори, ЖЭТФ, 21, 493 (1951). ⁴ J. V. Higham, I. M. Meek, Proc. Phys. Soc., 63, № 369 B (1950). ⁵ I. E. Allen, I. Craggs, Brit. J. Appl. Phys., 5, 446 (1954). ⁶ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Механика сплошных сред, М., 1954. ⁷ A. Schlüter, Zs. f. Naturforsch., 5a, 72 (1950). ⁸ B. Ganger, Der Elektrische Durchschlag von Gasen, 1953.

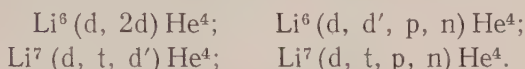
Ю. Л. СОКОЛОВ, М. М. СУЛКОВСКАЯ, Е. А. АЛЬБИЦКАЯ
и Э. И. КАРПУШКИНА

УРОВНИ ЯДРА Li^6

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 28 VIII 1956)

С помощью методики, описанной нами ранее ⁽¹⁾, были исследованы реакции, возникающие при взаимодействии быстрых дейтронов с ядрами Li^6 и Li^7 . Для регистрации продуктов реакций применялись пластинки типа E-1 (Ильфорд), причем литий вводился непосредственно в эмульсионный слой. Пластинки, содержавшие около $2 \cdot 10^{21}$ атомов лития в 1 см^3 сухой эмульсии, облучались дейтронами с энергией, равной $17,5 \pm 0,25$ Мэв, таким образом, что их пробеги полностью укладывались в эмульсии.

Среди многочисленных реакций, наблюдавшихся в пластинках, нами были идентифицированы следующие реакции на Li^6 и Li^7 :



Реакция $\text{Li}^6(d, 2d) \text{He}^4$. Исследование обнаруженной нами ранее реакции $\text{Li}^6(d, 2d) \text{He}^4$ ⁽¹⁾ показало, что в этом случае, помимо наблюдавшихся уровней при 2,2 и 4,5 Мэв, проявляются также уровни при 5,9; 7,4 и 8,3 Мэв (рис. 1)*. Все эти уровни должны иметь изотопические спины, равные нулю, поскольку продуктами распада ядра Li^6 являются α -частица и дейтрон (обладающие изотопическими спинами, равными 0).

Реакция $\text{Li}^6(d, d', p, n) \text{He}^4$. Значение Q для этой реакции равно $-3,7$ Мэв, вследствие чего распад возбужденного ядра Li^6 не происходит в рассматриваемом случае с уровня при 2,2 Мэв. Следующим уровнем, который может быть возбужден неупруго рассеянным дейтроном, является, повидимому, уровень при $\sim 4,5$ Мэв. Однако звезды, относящиеся к этому уровню, нами найдены не были. Последнее объясняется, по всей вероятности, малыми пробегами появляющихся в этом случае частиц, что делало невозможной идентификацию соответствующих звезд.

Все обнаруженные нами звезды, принадлежащие реакции $\text{Li}^6(d, d', p, n) \text{He}^4$, относятся к распаду возбужденных ядер с более высоких уровней, энергии которых оказались равными $\sim 5,9$ и $7,4$ Мэв. Изотопические спины этих уровней должны быть равны нулю, поскольку в рассматриваемой реакции возбуждение ядра Li^6 происходит под действием дейтрона.

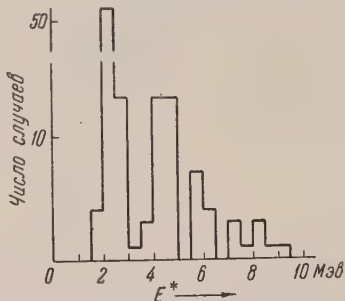
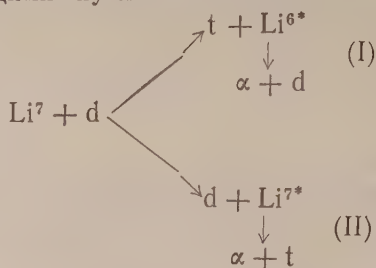


Рис. 1. Распределение сумм $E_{\text{Li}^6}^*$ для реакции $\text{Li}^6 + d \rightarrow d + \text{Li}^{6*}_{\alpha + d'}$

* Энергия уровня определялась как $E^* = \epsilon_\alpha + \epsilon_d + |Q|$, где ϵ_α и ϵ_d — кинетические энергии α -частицы и дейтрона в системе ц. и. возбужденного ядра Li^6 , а Q — энергия реакции.

Реакция $\text{Li}^7(d, t, d')\text{He}^4$. Эта реакция может, повидимому, протекать двумя следующими путями:



и позволяет, таким образом, определить положение некоторых уровней ядер Li^6 и Li^7 . Однако соответствующая обработка звезд, принадлежащих реакции $\text{Li}^7(d, t, d')\text{He}^4$, осложняется вследствие тех же причин, которые имели место при изучении реакции $\text{Li}^6(d, 2d)\text{He}^4$ (1). В рассматриваемом случае не известно заранее, к какому из двух указанных выше каналов реакции относится данная звезда. Вследствие этого при обработке альтернативно предполагалось, что реакция идет одним из возможных путей.

Очевидно, что найденные таким образом сопряженные суммы $E_{\text{Li}^6}^* = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_d + |Q_{\text{Li}^6}|$ и $E_{\text{Li}^7}^* = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_t + |Q_{\text{Li}^7}|^*$ должны группироваться (по одной из парных величин) около значений, соответствующих энергиям уровней ядер Li^6 и Li^7 .

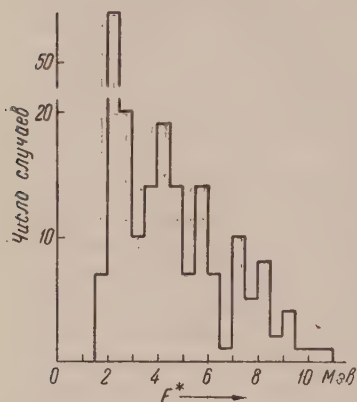
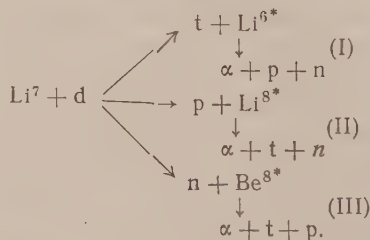


Рис. 2. Распределение сумм $E_{\text{Li}^6}^*$ для реакции $\text{Li}^7 + d \rightarrow t + \text{Li}^{6*}$ $\alpha + d'$

рого не было установлено достоверно). Этому уровню был приписан изотопический спин $T = 1$, что, однако, противоречит полученным нами данным.

Реакция $\text{Li}^7(d, t, p, n)\text{He}^4$. Эта реакция в принципе может иметь три следующих канала:



При тех возбуждениях, которые могли иметь место в рассматриваемом случае ($E_{\text{dmax}} = 17,5$ МэВ), могут существовать все три канала ($Q_{\text{Li}^6} = -3,7$ МэВ, $Q_{\text{Li}^8} = -4,5$ МэВ и $Q_{\text{Be}^8} \cong -20$ МэВ).

* См. примечание к рис. 1.

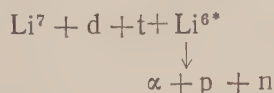
Если вычислить энергии уровней ядра Li^6 для звезд, относящихся к рассматриваемой реакции (предполагая, что она идет по первому каналу), то полученные таким образом суммы $E_{\text{Li}^6}^* = \epsilon_\alpha + \epsilon_p + \epsilon_n + |Q_{\text{Li}^6}|$ группируются около значений, равных 5,2; 6,7 и 8,3 Мэв, которые достаточно хорошо совпадают с известными энергиями уровней ядра Li^6 . В области от 9 до 10,5 Мэв также находится довольно многочисленная группа сумм $E_{\text{Li}^6}^*$. Можно предположить, что здесь наблюдается один широкий уровень или, что, повидимому, является более правильным, имеет место положение двух уровней, один из которых находится приблизительно при $\sim 9,5$ Мэв, а другой — при $\sim 10,1$ Мэв. Поскольку положение этих уровней определено недостаточно точно, то можно, повидимому, допустить, что энергии возбуждения, равные 9,2 и 9,5 Мэв, найденные, соответственно, из реакций $\text{Li}^7(d, t, d')\text{He}^4$ и $\text{Li}^7(d, t, p, n)\text{He}^4$, относятся, в действительности, к одному и тому же уровню, находящемуся при $\sim 9,3$ Мэв. Этот уровень должен, очевидно, обладать изотопическим спином $T = 0$.

Уровни при 5,2 и 6,7 Мэв имеют изотопические спины $T = 1$, что не противоречит возможности распада возбужденного ядра Li^6 на α -частицу, протон и нейтрон. Эти уровни, так же как и уровень при $\sim 10,1$ Мэв, не наблюдались в других исследованных нами реакциях, которые приводят к образованию возбужденных ядер Li^6 с уровнями, обладающими изотопическим спином $T = 0$. Можно поэтому предположить, что уровень при 10,1 Мэв, если таковой существует, имеет изотопический спин $T = 1$.

Наблюдавшийся нами уровень при 8,3 Мэв (который обнаруживается здесь достаточно отчетливо) может иметь в рассматриваемом случае как изотопический спин $T = 1$, так и $T = 0$. Однако приведенные выше данные, относящиеся к реакции $\text{Li}^7(d, t, d')\text{He}^4$, заставляют предположить, что он обладает изотопическим спином $T = 0$.

В заключение следует отметить следующую интересную особенность реакций $\text{Li}^6(d, t, d')\text{He}^4$ и $\text{Li}^7(d, t, p, n)\text{He}^4$. При исследовании канала реакции $\text{Li}^7(d, t, d')\text{He}^4$, приводящего к образованию возбужденных ядер Li^6 , был обнаружен ряд уровней этого ядра, имеющих изотопический спин $T = 0$, что следовало из того обстоятельства, что эти ядра распадались на α -частицу и дейтрон.

Первый исследованный нами канал реакции $\text{Li}^7(d, t, p, n)\text{He}^4$



также приводит к образованию возбужденных ядер Li^6 , причем наблюдающиеся уровни могут иметь в рассматриваемом случае как изотопический спин $T = 0$, так и $T = 1$. Однако при изучении сумм $E_{\text{Li}^6}^*$ найденных нами для реакции $\text{Li}^7(d, t, p, n)\text{He}^4$, было обнаружено, что в этом случае наблюдаются (о чем уже говорилось выше) уровни при 5,2; 6,7; 8,3 и 9,5 — 10 Мэв. Уровни при 5,2 и 6,7 Мэв имеют, как известно, $T = 1$; уровень при 8,3 Мэв должен, повидимому, обладать изотопическим спином $T = 0$. В то же время другие уровни ядра Li^6 с $T = 0$, которые по энергетическим соображениям могли наблюдаться в данном случае, а именно уровни с $T = 0$ при 5,9 и 7,4 Мэв, не были нами обнаружены (точнее, имелся лишь весьма слабый намек на уровень при 7,4 Мэв, а уровень при 5,9 Мэв определенно отсутствовал).

Полученные нами результаты, касающиеся наблюдения уровней возбужденных ядер Li^6 , могут быть представлены в виде схемы, изображенной на рис. 3.

При рассмотрении этой схемы обращает на себя внимание то обстоятельство, что, начиная с $E_{\text{Li}^6}^* = 3,6$ Мэв (этот уровень не мог нами

наблюдаться), уровни Li^6 расположены на приблизительно одинаковых расстояниях, равных, в среднем, 0,8 Мэв.

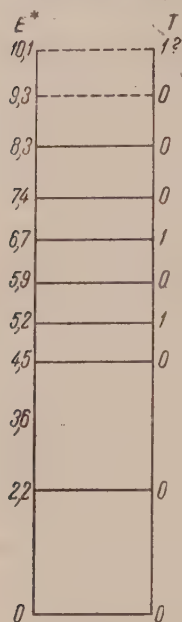


Рис. 3. Схема уровней ядра Li^6

$\text{Li}^7(d, t, p, n) \text{He}^4$	$\text{Li}^7(d, t, p, n) \text{He}^4$
$\text{Li}^7(d, t, d') \text{He}^4$	$\text{Li}^7(d, t, d') \text{He}^4$
$\text{Li}^6(d, 2d) \text{He}^4$	$\text{Li}^7(d, t, p, n) \text{He}^4$
$\text{Li}^6(d, 2d) \text{He}^4$	$\text{Li}^7(d, t, d') \text{He}^4$
$\text{Li}^7(d, t, p, n) \text{He}^4$	$\text{Li}^6(d, d', p, n) \text{He}^4$
$\text{Li}^6(d, 2d) \text{He}^4$	$\text{Li}^7(d, t, d') \text{He}^4$
$\text{Li}^7(d, t, p, n) \text{He}^4$	$\text{Li}^6(d, d', p, n) \text{He}^4$
$\text{Li}^6(d, 2d) \text{He}^4$	$\text{Li}^7(d, t, d') \text{He}^4$
$\text{Li}^6(d, 2d) \text{He}^4$	$\text{Li}^7(d, t, d') \text{He}^4$

Авторы приносят благодарность проф. И. И. Гуревичу, А. И. Базь Г. М. Будянскому за дискуссию по ряду вопросов, а также З. М. Кудряшовой, Л. С. Батуриной, М. И. Овсянниковой за просмотр пластинок.

Поступило
31 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Ю. Л. Соколов, М. М. Сулковская, Е. А. Альбицкая; Э. И. Карпушкина, ЖЭТФ, 30, № 6, 1007 (1956). ² F. A j z e n b e r g, T. L a u r i s e n, Rev. Mod. Phys., 27, 77 (1955).

Ю. М. ШИРОКОВ

ОБ УСЛОВИЯХ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ИНВАРИАНТНОСТИ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 27 VI 1956)

1. Целью работы является исследование общих требований, которым необходимо должна удовлетворять любая релятивистская квантовая теория. Эти требования удастся выразить в виде перестановочных соотношений более общих, чем известные условия инвариантности квантовой теории^(1,2). В квантовой теории поля эти соотношения не выполнены.

2. Одной из причин возникновения трудностей в полевых теориях является неквантовое описание пространственно-временных соотношений. Например, определяемый в квантовой электродинамике тензор энергии-импульса $\hat{T}_{\mu\nu}(x)$ не может трактоваться как оператор соответствующей классической величины, ибо такая трактовка приводит к нарушению соотношения неопределенности. Действительно, если считать компоненту $\hat{T}_{10}(x)$ этого тензора оператором плотности импульса, то величина $\hat{p}_1 = \int_{\Delta V} T_{10}(x) dx dy dz$ будет оператором импульса, сосредоточенного в малом объеме $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$. Собственная функция ψ_λ оператора \hat{p}_1 будет описывать состояние, в котором импульс p_1 известен точно, а материя, создающая этот импульс, сосредоточена в объеме ΔV .

Таким образом, в современной теории операторы $\hat{T}_{10}(x)$, \hat{p}_1 не имеют физического смысла. Это весьма странно, так как электромагнитное поле входит в них точно так же, как и в обозначаемые теми же буквами классические величины. Причина возникновения трудности выясняется при попытке придумать мысленный эксперимент для измерения p_1 . Первым шагом для такого измерения должно быть задание системы координат и метрики, что является физической операцией, производимой либо с помощью заполнения точек пространства часами и масштабами, либо с помощью световых сигналов. Точное задание системы координат на сколь угодно малых расстояниях с помощью квантовых тел потребует неограниченно больших и неопределенных импульсов. Это и сделает невозможным точное измерение плотности импульса $T_{10}(x)$.

При квантовомеханическом описании пространственно-временного континуума измерения расстояний и промежутков времени должны изменять состояние системы. Для этого выбор системы координат должен описываться специальными динамическими переменными, что сделает возможным существование состояний с неопределенной системой координат. Система координат должна быть полностью неопределенной, например, для вакуумного состояния.

Невозможность нарушения соотношений неопределенности должна обеспечиваться соответствующими перестановочными соотношениями.

3. В настоящее время на уравнения релятивистской квантовой теории накладываются лишь требования инвариантности относительно преобразований неоднородной группы Лоренца, приводящие к перестановочным соотношениям для операторов импульса p_μ и момента $M_{\mu\nu}$ ^(1,2):

$$[M_{\mu\nu}, M_{\lambda\sigma}] = i(\delta_{\mu\sigma} M_{\lambda\nu} + \delta_{\mu\lambda} M_{\nu\sigma} + \delta_{\nu\sigma} M_{\mu\lambda} + \delta_{\nu\lambda} M_{\sigma\mu}),$$

$$[M_{\mu\nu}, p_\lambda] = i(p_\nu \delta_{\mu\lambda} - p_\mu \delta_{\nu\lambda}), \quad (p_\mu, p_\nu) = 0.$$

Однако в использовании только декартовых систем координат содержится физическое утверждение о том, что заполнение часами и масштабам ограниченной окрестности начала координат равносильно измерению расстояний и промежутков времени во всем пространстве, что с неизбежностью приведет к недопустимой в квантовой механике возможности точного измерения импульса в ограниченном объеме.

На самом деле физическое задание системы координат в одной области еще не предопределяет, с какой точностью будет установлена система координат вдали от этой области. Математический учет этого обстоятельства должен состоять в учете всех «степеней свободы» изменения системы координат, т. е. в наложении на теорию требования инвариантности относительно к любым криволинейным координатам.

4. Изложенные выше физические соображения допускают точную математическую формулировку. Допустим, что:

I. Теория является квантовой. Это значит, что любое состояние физической системы описывается волновой функцией (вектором состояния), причем уравнения движения линейны по отношению к этой функции.

II. Теория является релятивистской. Это значит, что пространство и время образуют четырехмерный континуум с псевдоевклидовой метрикой.

Из II следует, что корректная теория должна быть инвариантна относительно преобразований перехода к любым криволинейным системам координат:

$$x^\mu = f^\mu(x') \quad (1)$$

Эти преобразования образуют группу. В соответствии с I каждому преобразованию (2) должно соответствовать линейное преобразование волновой функции (вектора состояния) Ψ

$$\Psi_q = U_{qq'}(f) \Psi_{q'}, \quad (2)$$

причем матрицы $U(f)$ должны образовывать представление группы (2). Бесконечно малые преобразования (2), (3) имеют вид, соответственно

$$x^\mu = x'^\mu + \xi^\mu(x'), \quad (3)$$

$$\Psi = \left\{ 1 + i \int dx \xi^\mu(x) R_\mu(x) \right\} \Psi', \quad (4)$$

где $R_\mu(x)$ — оператор, не зависящий от $\xi^\mu(x)$.

Произведем теперь подряд четыре преобразования:

$$x^\mu = x'^\mu + \xi_1^\mu(x'), \quad (5)$$

$$x'^\mu = x''^\mu + \xi_2^\mu(x''), \quad (6)$$

преобразование, обратное (6), и преобразование, обратное (7).

В результате получим с точностью до второго порядка:

$$x^\mu = x^{(IV)\mu} + \xi_2^\nu(x^{(IV)}) \frac{\partial \xi_1^\mu}{\partial x^{(IV)\nu}} - \xi_1^\nu(x^{(IV)}) \frac{\partial \xi_2^\mu}{\partial x^{(IV)\nu}} \equiv$$

$$\equiv x^{(IV)\mu} + \xi_3^\mu(x^{(IV)}). \quad (7)$$

По определению представления результирующее преобразование для Ψ должно удовлетворять условию:

$$\Psi = \left\{ 1 + i \int dx \xi_1^\mu(x) R_\mu(x) \right\} \left\{ 1 + i \int dx' \xi_2^\nu(x') R_\nu(x') \right\} \times \\ \times \left\{ 1 + i \int dx'' \xi_1^\lambda(x'') R_\lambda(x'') \right\}^{-1} \left\{ 1 + i \int dx''' \xi_2^\sigma(x''') R_\sigma(x''') \right\}^{-1} \psi^{(IV)} = \\ = \left\{ 1 + i \int dx \xi_3^\mu(x) R_\mu(x) \right\} \psi^{(IV)}. \quad (9)$$

Подставив в (9) $\xi_3^\mu(x)$ из (8) и воспользовавшись произвольностью $\xi_2^\mu(x)$, $\xi_2^\nu(x)$, получим перестановочные соотношения $R_\mu(x)$:

$$[R_\mu(x), R_\nu(x')] = i \left\{ R_\nu(x) \frac{\partial}{\partial x^\mu} - R_\mu(x') \frac{\partial}{\partial x'^\nu} \right\} \delta(x - x'). \quad (10)$$

Соотношения (10) и являются искомыми условиями инвариантности теории относительно преобразований к произвольным криволинейным координатам. В релятивистской теории допустимы только такие волновые функции, для которых может быть определен удовлетворяющий (10) оператор $R_\mu(x)$. Оператор $R_\mu(x)$ в соответствии с (5) определен действительно в точке x пространства. Этим он существенно отличается от определенных в точке операторов существующей теории поля, в отношении которых невозможно доказать, что параметр « x », от которого они зависят, тождественен с координатой пространства.

Поясним физический смысл оператора $R_\mu(x)$. Положив в (5)

$$\xi^\mu(x) = \text{const},$$

получим

$$\int dx R_\mu(x) = p_\mu, \quad (11)$$

а при

$$\xi^\mu(x) = \varepsilon^\mu_\nu x^\nu$$

получим

$$\int dx (x_\mu R_\nu(x) - x_\nu R_\mu(x)) = M_{\mu\nu}. \quad (12)$$

5. Следующим шагом в построении корректной теории должно быть отыскание неприводимых унитарных представлений группы (2), т. е. величин, ковариантных относительно этой группы и допустимых в качестве волновых функций. Волновая функция регулярного представления группы (2) является функционалом от $f^\mu(x)$ из (2):

$$\psi = \psi[f^\mu(x)], \quad (13)$$

а оператор $R_\mu(x)$ имеет вид

$$R_\mu(x) = \frac{1}{i} \frac{\partial f^\nu(x)}{\partial x^\mu} \frac{\delta}{\delta f^\nu(x)}. \quad (14)$$

Так как $R_\mu(x)$ не коммутирует с оператором выбора системы координат $f^\mu(x)$, то измерение импульса в ограниченном объеме возможно лишь при неопределенной системе координат.

6. Задание системы координат равносильно идентификации отдельных точек континуума и ничего не говорит о метрических свойствах пространства, которые должны описываться метрическим тензором. Для волновой функции (13) метрический тензор является оператором вида

$$g_{\mu\nu}(x) = \frac{\partial f^\lambda(x)}{\partial x^\mu} \frac{\partial f^\sigma(x)}{\partial x^\nu} \int dy g_{\lambda\sigma}^0(y) \delta(y - f(x)) = \\ = \frac{\partial f^\lambda}{\partial x^\mu} \frac{\partial f^\sigma}{\partial x^\nu} g_{\lambda\sigma}^0(f(x)), \quad (15)$$

где $g_{\lambda\sigma}^0(y)$ — метрический тензор в какой-то одной системе координат. Тензор $g_{\mu\nu}^0(x)$ также не коммутирует с $R_\mu(x)$. В специальной теории относительности $g_{\lambda\sigma}^0$ можно выбрать псевдоевклидовым.

7. При переходе к общей теории относительности $g_{\mu\nu}^0(x)$ следует считать функциональной переменной волновой функции. Естественность обобщения теории на случай учета гравитации является следствием правильного квантовомеханического описания свойств пространства — времени. Полагая $g_{\mu\nu}^0(x)$ равным своему псевдоевклидову значению, мы, помимо того, также совершаем неправомерную в квантовой механике операцию простого отбрасывания степеней свободы, существовавших в гравитации, так как это простое отбрасывание противоречит соотношению неопределенности между сопряженными координатой и импульсом, соответствующими этой степени свободы.

8. Интересно отметить, что соотношения (10) впервые были фактически учтены Томогаой ⁽⁴⁾. Именно, для функционала $\psi[t_{xyz}]$ можно определить удовлетворяющий (10) оператор $R_\mu(x)$

$$R(x, t) = i\delta(t - t_{xyz}) \frac{\partial t_{xyz}}{\partial x} \frac{\delta}{\delta t_{xyz}}, \quad (16)$$

$$R_0(x, t) = i\delta(t - t_{xyz}) \frac{\delta}{\delta t_{xyz}}.$$

Тем самым в уравнении

$$i \frac{\delta}{\delta t_{xyz}} \psi = H(x) \psi \quad (17)$$

волновая функция ковариантна по отношению к функциональной переменной t_{xyz} .

9. При выводе соотношений (10) число измерений пространства не является существенным. Поэтому условия инвариантности нерелятивистской квантовой теории относительно координатных преобразований трехмерного пространства имеют ту же форму (10) с тем лишь отличием, что δ -функция трехмерна, а индексы пробегает значения $i, j = 1, 2, 3$.

Эти условия в нерелятивистской квантовой механике выполняются. Например, для нерелятивистской волновой функции $\psi(x)$ оператор $R_i(x)$ имеет вид

$$R_i(y) = \frac{1}{i} \delta(x - y) \frac{\partial}{\partial x_i} - \frac{1}{2i} \frac{\partial \delta(x - y)}{\partial y_i} \quad (18)$$

Поэтому изложенные выше соображения не затрагивают нерелятивистской квантовой механики. Глубокое отличие этих теорий состоит в том, что в теории поля координаты являются c -числами, а в нерелятивистской квантовой механике — операторами.

10. В настоящее время распространено мнение о том, что для преодоления возникающих в полевых теориях трудностей нужны принципиально новые физические идеи. С развиваемой точки зрения более неотложно задачей является не отыскание новых, а корректная формулировка старых физических идей относительности и квантовых свойств материи.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
11 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ V. Bargmann, E. Wigner, Proc. Nat. Acad. Sci., **34**, 211 (1948).
² P. A. M. Dirac, Rev. Mod. Phys., **21**, 392 (1949). ³ И. М. Гельфанд и М. А. Наймарк, J. of Phys., **10**, 93 (1946); Изв. АН СССР, сер. матем., **11**, 411 (1947).
⁴ S. Tomonaga, Progr. Theor. Phys., **1**, 27 (1946).

Э. В. ШПОЛЬСКИЙ и Л. А. КЛИМОВА

ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТР КОРОНЕНА В РАСТВОРАХ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 9 X 1956)

1. В ряде предыдущих работ нашей лаборатории (¹⁻³), а также в работах Боуэна и Б. Броклехерста (^{4, 5}), было показано, что некоторые многоядерные конденсированные ароматические углеводороды в растворах нормальных парафинов (начиная с *n*-пентана), замороженных при 77° К, дают спектры флуоресценции и фосфоресценции, состоящие из столь узких полос, что они могут быть названы «линиями». В цитированных работах были приведены примеры одиннадцати ароматических углеводородов, спектры которых дают подобную картину. Было обращено внимание на то, что эта картина возникает тогда, когда растворитель замерзает кристаллически; напротив, в растворителях, дающих при замерзании прозрачную стеклообразную массу (специальные смеси, спирты), спектр размывается (^{3, 5}). Наконец, было показано, что наиболее благоприятные условия для возникновения структуры спектра имеются в тех парафинах, у которых размеры *c*-оси элементарной ячейки кристалла близки к размерам излучающих молекул.

Ввиду того, что наши ранние фотографии спектров были сделаны на приборе с недостаточной для выявления всех деталей разрешающей способностью, были выполнены и промерены новые фотографии на приборах с значительно большей разрешающей способностью (трехпризменный стеклянный спектрограф ИСП-51 с длиннофокусной камерой, линейная дисперсия 6,3 Å/мм при 4000 Å и спектрограф с дифракционной решеткой, линейная дисперсия 6,3 Å/мм по всему спектру).

2. Как уже указывалось раньше (¹), спектр флуоресценции коронена, снятый в указанных условиях, характеризуется наличием близко расположенных пар линий с расстоянием между компонентами, постоянным для данного растворителя, но меняющимся при переходе от одного растворителя к другому (86 см⁻¹ в гексане, 70 см⁻¹ в гептане и 38 см⁻¹ в октане).

Рассмотрим, например, спектр в гексане (см. рис. 1). Он открывается слабой линией 4262 Å, которую на основании соотношения со спектром поглощения (^{5, 10}), следует сопоставить переходу $O' \rightarrow O''$. Однако эта линия (так же как соответствующие линии в гептане и в октане) в действительности не является самой коротковолновой, так как на расстоянии 86 см⁻¹ от нее в фиолетовую сторону лежит линия 4246 Å. Если принять обе эти линии за начало счета и образовывать разности между частотами этих линий и соответственно выбранных последующих линий, то весь спектр, включая его длинноволновую часть, изобилующую линиями, можно разбить на две последовательности, повторяющие друг друга в отношении чередования частот, но смещенные одна относительно другой на 86 см⁻¹ (рис. 1, а). Такой же результат получается и в двух других растворителях, гептане и октане, — только смещения будут соответственно 70 и 38 см^{-1*} (рис. 1, б).

* Мы при этом пока оставляем в стороне более тонкие детали спектров, как, например, появление спутников при расстоянии 15—20 см⁻¹ от основной линии, а также сложный характер дублетов в длинноволновой части спектра (каждая линия в свою очередь расщепляется на два компонента).

Очень важен следующий факт: при сопоставлении выделенных таким образом в различных растворителях последовательностей оказывается, что за исключением немногих отдельных частот, все эти последовательности между собой совпадают (табл. 1). Поскольку, таким образом, влияние растворителя сказывается только в величине относительного смещения обеих последовательностей, сами эти последовательности естественно связать с излучающей молекулой, т. е. с короненом. К сожалению, ни спектры комбинационного рассеяния, ни инфракрасные спектры коронена не известны. Можно надеяться, однако, извлечь пользу из аналогии в структуре между короненом и бензолом, так как обе эти плоские молекулы принадлежат к одной и той же точечной группе симметрии D_{6h} . Для этого класса теория групп устанавливает правила отбора, согласно которым переход $0' \rightarrow 0''$ должен быть запрещен по симметрии⁽⁸⁾. В свободных молекулах бензола (в газообразном состоянии) запрет снимается антисимметричным колебанием $e_{2g}^* 606 \text{ см}^{-1}$, деформирующим молекулу. В молекуле коронена переход $0' \rightarrow 0''$ также должен быть запрещен по симметрии⁽⁸⁾, однако в наших условиях, в замороженном кристаллическом растворе, запрет может быть снят возмущающим влиянием растворителя. Поскольку все-таки вероятность перехода будет мала, соответствующая линия будет слабой и, кроме того, ее интенсивность должна существенно зависеть от растворителя. Это и наблюдается на самом деле.

Оказывается, однако, что аналогия с бензолом идет гораздо дальше, чем можно было ожидать. В самом деле, табл. 1 показывает, что частоты наиболее сильно представленные в колебательном спектре бензола, присутствуют также и в спектре коронена. Это, прежде всего, частота полностью симметричного колебания a_{1g} (частота «дыхания») углеродного скелета 992 см^{-1} , которая в том и другом спектре имеет интенсивность, далеко превосходящую остальные**. Присутствует также частота $3070 \text{ (}^5\text{)}$, в пределах погрешностей совпадающая с частотой 3062 полностью симметричных колебаний водородных атомов бензола. В табл. 1 находим целый ряд частот близких к указанным в последнем столбце частотам бензола, наблюдаемые почти исключительно в его спектре комбинационного рассеяния. Наряду с этим в той же таблице приведено более 25 частот, характерных для коронена, но не встречающихся ни в комбинационном, ни в инфракрасном спектре бензола. Отметим среди них сильную частоту 365 см^{-1} , происхождение которой не установлено. Следует отметить также, что среди этих частот не встречаются частоты близкие к характеристическим частотам нормальных парафинов⁽⁶⁾. Следует, впрочем, оговориться, что это утверждение не относится к малым частотам ($< 100 \text{ см}^{-1}$), которые вообще не известны.

3. Наряду с флуоресценцией, коронен в замороженных растворах дает еще желто-зеленое свечение большой длительности ($\tau = 9 \text{ сек.}$). Интерпретация подобного длительного свечения как запрещенного перехода триплет — синглет в настоящее время может считаться экспериментально доказанной. Спектр фосфоресценции коронена приводится на рис. 4 и нашего предыдущего сообщения⁽³⁾, где, к сожалению, совсем не вышли слабые линии. Несмотря на большую сложность этого спектра по сравнению со спектром флуоресценции, его также можно разложить на две последовательности, смещенные друг относительно друга. Этому способствует различная интенсивность обоих спектров. Их относительное смещение отличается, однако, от смещения спектров флуоресценции в том же растворителе. Так, в гексане оно равно 58 см^{-1} вместо 86

* Здесь и дальше, а также в табл. 1 обозначения и нумерация колебаний бензола даются по Герцбергу⁽⁹⁾.

** Сильно размытый контур этой линии на фотографиях рис. 1 есть следствие ореола, который вызывает линия 992 см^{-1} , интенсивность которой приблизительно в 100 раз превышает среднюю интенсивность остальных линий спектра.

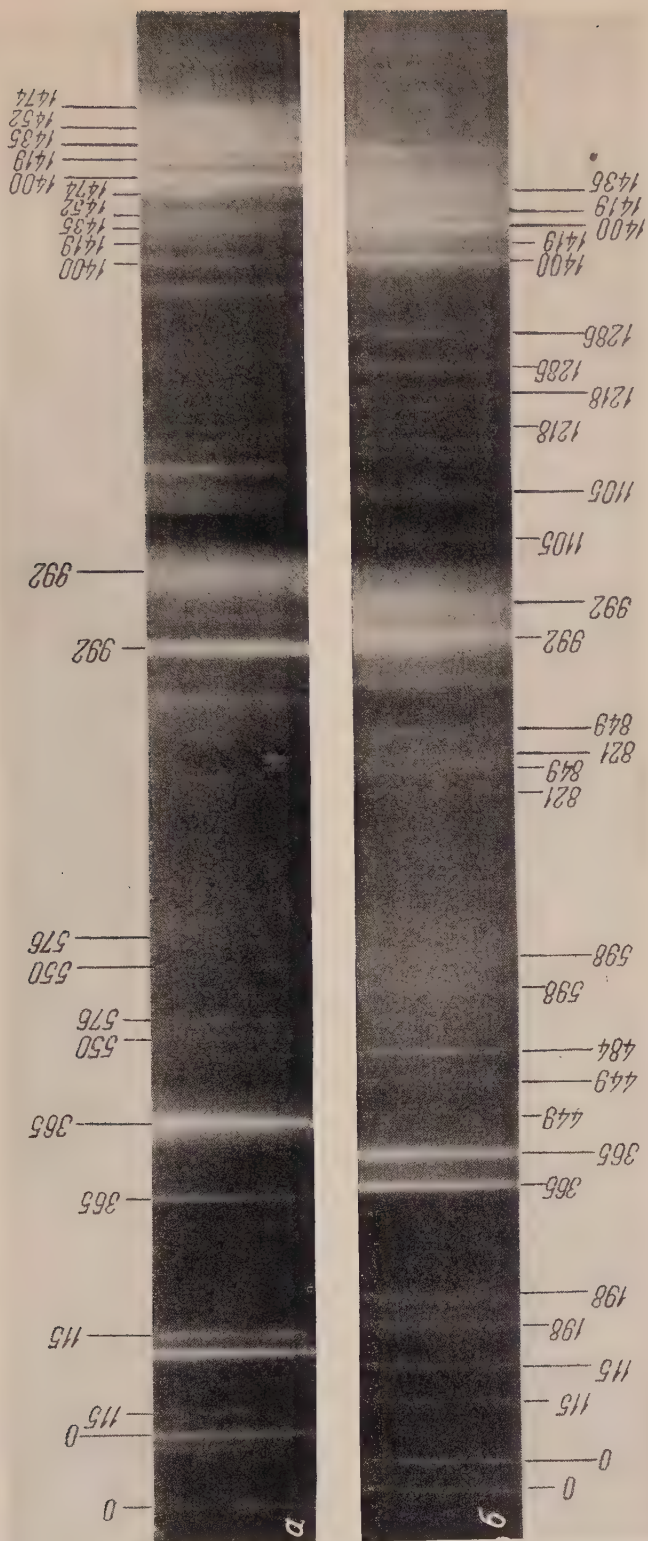


Рис. 1.

Таблица 1

В гексане	В гептане	В октане	Средн.	По данным (5) для коронена в гептане	Близкие частоты бензола (из спектра комбинационного рассеяния)
118	115	111	115*	—	
—	—	—	—	295	
367	366	364	365*	365	
447	453	448	449*	420	
—	—	484	484*	480	
550	—	—	—	550	
600	—	596	598	615	$\nu_{18} (C \parallel e_{2g} = 605)$
—	822	820	821	825	
851	—	847	849	850	$\nu_{11} (H \perp e_{1g} = 848,9)$
990	995	992	992	995	$\nu_2 (CC a_{1g} = 991,6)$
—	—	1030	—	—	
—	—	1068	—	—	
—	1082	—	—	—	
—	—	1105	—	—	
1152	1154	—	1153*	1155	
1175	1171	—	1173	—	$\nu_{17} (H \parallel a_{2g} = 1175)$
1200	—	1200	1200	—	
1218	—	1218	1218*	1220	
—	1262	—	—	—	
1286	1286	1284	1286*	1290	
1402	1403	1399	1400*	1405	
1419	1419	1418	1419	—	
1435	1436	1434	1435*	—	
1452	1451	1452	1452	—	
1474	1475	1473	1474	—	$\nu_{13} (CC e u = 1475)$
					(И. к. частота бензола 1478—1485)
1715	1716	1715	1715*	1715	$\nu_2 + 2 \times 365 = 992 + 730 = 1722$
1734	1734	1734	1734	—	
1786	1788	1788	1787	—	
—	—	1800	1800*	—	
—	—	1810	—	—	
1884	1882	1879	1882*	—	И. к. частота 1880 (?)
1898	1894	—	1896	1900	
—	1913	—	—	—	
—	—	2022	—	2020	
—	—	—	—	2215	
2346	2344	2346	2345	2345	$2\nu_2 + 365 = 2349 (?)$
2365	2363	2364	2364	—	
—	—	—	—	2525	
—	—	2776	—	—	
—	—	2790	2790*	—	
—	—	2808	2800*	2810	
—	—	—	—	3070	$\nu (CH) a_{1g} = 3062$
—	—	—	—	3250	
—	—	—	—	3720	

в флуоресценции, в гептане 52 — вместо 70 и, наконец, в октане — 13 вместо 38 см^{-1} .

Поскольку в этом случае, так же как и в случае флуоресценции, происходят переходы к колебательным уровням нижнего синглетного состояния, следует ожидать, что в разностях частот каждой последовательности воспроизведутся те же колебания, которые получаются из спектров флуоресценции. В табл. 1 мы находим подтверждение этого ожидания. Здесь звездочкой отмечены частоты колебаний, которые на самом деле являются общими для спектров флуоресценции и фосфоресценции. Интересно отметить, что это как раз те частоты, которые отсутствуют в спектре бензола. Нам представляется, что этот факт может быть вполне правдо-

подобно объяснен изменением конфигурации молекулы в триплетном (бирадикальном) состоянии и связанным с ним изменением симметрии молекулы, в свою очередь ведущим к изменению правил отбора. То, что в триплетном состоянии молекула должна иметь симметрию, отличную от симметрии синглетного состояния, неоднократно указывалось при анализе спектра флуоресценции бензола (7).

4. Причина возникновения двух последовательностей со смещением, характерным для растворителя, до сих пор не ясна. Был высказан ряд гипотез (3, 5, 8), но все они вызывают существенные возражения. Для выяснения этого важного вопроса необходимо шире разнообразить условия эксперимента: изучить спектры большего числа веществ различной структуры, изучить влияние заместителей, влияние температуры и т. п.

Авторы выражают искреннюю благодарность П. П. Феофилову за предоставление возможности снять спектры коронена на его спектрографе с дифракционной решеткой.

Московский государственный
педагогический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
9 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Э. В. Шпольский, А. А. Ильина, Л. А. Климова, ДАН, **87**, 935 (1952). ² Э. В. Шпольский, Л. А. Климова, Изв. АН СССР, сер. физ., **18**, 673 (1954). ³ Э. В. Шпольский, Л. А. Климова, Матер. 4-го Совещ. по люминесценции 20—25 июня 1955 г.; Изв. АН СССР, сер. физ., **20**, 471 (1956). ⁴ E. J. Bowen, B. Brocklehurst, J. Chem. Soc., **1954**, 3875. ⁵ E. J. Bowen, B. Brocklehurst, J. Chem. Soc., **1955**, 4320. ⁶ N. Sheppard D. M. Simpson, Quart. Rev. Chem. Soc., **7**, № 1, 19 (1953). ⁷ P. Pestel, A. Zmerli, Ann. Phys., **10**, 1079 (1955). ⁸ J. Sidman, J. Chem. Phys., **23**, 365 (1955). ⁹ Г. Герцберг, Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул, ИЛ, 1949.

А. Г. КАЛАШНИКОВ

НАМАГНИЧИВАНИИ ПРИЗМ В ОТКРЫТОЙ И ЗАМКНУТОЙ ЦЕПЯХ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 23 IV 1956)

Исследования остаточной индукции B_r в технике обычно производятся намагниченными телами, получившими B_r в процессе намагничивания в замкнутой цепи. Но существует большой класс тел, остаточная индукция которых образуется в открытой цепи — мы имеем в виду различные горные породы, в особенности — железные магнетитовые руды, которые намагничиваются в земном поле. Возникает вопрос, будет ли одинакова остаточная индукция тела одинаковой формы из одного и того же вещества при намагничивании в открытой и замкнутой цепях. Решение этой задачи имеет существенное значение как для геофизики, так и для магнитостатики в целом.

Экспериментальное решение этой задачи мы проводили на стальных призмах с сечением $S = 0,81 \text{ см}^2$ и длиной от 225 до 27 мм (7 призм). Призмы намагничивались или в замкнутой цепи электромагнита или внутри соленоида с однородным полем в 100 эрст. (открытая цепь). Для контроля равенства индукции в процессе намагничивания в том и другом случае на середину призм надевалась маленькая катушка, концы которой соединялись с флюксметром. Когда включался ток в соленоид и внутри его возникало магнитное поле напряженностью H , то через катушку проходил определенный поток индукции. Эта величина отмечалась флюксметром. Далее ток из соленоида выключался, и призма оказывалась намагниченной в открытой цепи; с ней производились в дальнейшем измерения как распределения остаточной индукции B_r , так и напряженности поля вокруг нее. При намагничивании в замкнутой цепи призма зажималась между полюсами электромагнита, и ток в катушках электромагнита подбирался такой силы, чтобы поток индукции через середину образца был совершенно тем же, как и при намагничивании в открытой цепи.

Таким образом, все образцы как в открытой, так и в замкнутой цепи намагничивались при одном и том же потоке индукции через среднее сечение призмы. В зависимости от величины (т. е. от отношения длины призмы к стороне поперечного сечения) этот поток индукции менялся от 8820 гаусс (при $\alpha = 24$) до 1059 гаусс ($\alpha = 3$), а относительная величина остаточной индукции (B_r/B) — от 0,53 до 0,02 в середине призм.

Известно, что распределение индукции в призматическом магните вдоль его оси подчиняется приблизительно параболическому закону (^{1,2}). Этот закон считается настолько надежно выдерживающимся, что он применяется для изучения неоднородностей намагничиваемого тела (²). Мы исследовали распределение индукции при помощи очень узкой катушки, передвигающейся вдоль намагниченной призмы; поток индукции через катушку измерялся флюксметром. На рис. 1 показано распределение индукции в призмах, намагниченных указанным выше образом; кривые распределения различны для открытой и замкнутой цепей.

Следующее уравнение хорошо представляет распределение индукции вдоль оси X (начало координат — в середине призмы), найденное на опыте:

$$B_{r(x)} = B_{rm} - \frac{B_{rm} - B_{rn}}{l^2} x \pm C \sin \frac{\pi}{l^2} x^2, \quad (1)$$

где B_{rm} — максимальное значение остаточной индукции в середине образца, B_{rn} — остаточная индукция на конце образца, l — полудлина призмы, C — постоянная, зависящая от длины магнита. Знак плюс перед последним членом берется в случае намагничивания в замкнутой цепи, знак минус — при намагничивании в открытой цепи. Значение B_r , рассчитанное по этой формуле, совпадает с данными эксперимента с точностью до 1—3%. Коэффициент C для длинных магнитов примерно в 3,5 раза больше при намагничивании в замкнутой цепи, чем в открытой. Для коротких магнитов с отношением длины к поперечнику не больше 10 эти коэффициенты приблизительно одинаковы.

Для выяснения вопроса о том, как распределяется остаточная индукция в отдельных небольших элементах призмы, применялись призмы

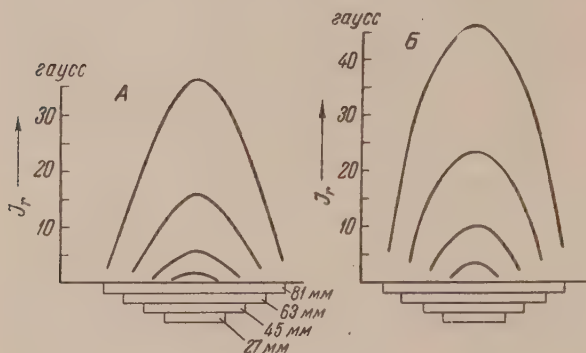


Рис. 1

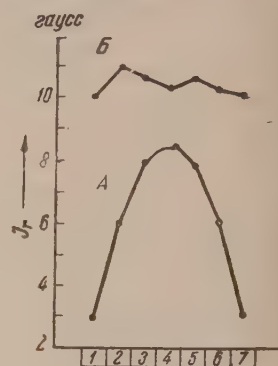


Рис. 2

Рис. 1. Распределение остаточной индукции B_r вдоль оси образца в зависимости от длины образца: А — образец намагничен в открытой цепи; Б — образец намагничен в замкнутой цепи

Рис. 2. Распределение остаточной индукции B_r в составном образце: А — образец намагничен в открытой цепи; Б — образец намагничен в замкнутой цепи

составленные из отдельных пришлифованных друг к другу кубиков, которые в целом составляли призму, равновеликую сплошной призме. Такие составные призмы зажимались в немагнитные держатели и намагничивались как в открытой, так и в замкнутой цепях. Затем измерялась остаточная индукция каждого отдельного кубика составной призмы. Оказалось (см. рис. 2), что распределение остаточной индукции по отдельным элементам призмы совершенно различно для открытой и замкнутой цепей; при намагничивании в замкнутой цепи каждый кубик имел практически одинаковую величину индукции по оси призмы, а в открытой цепи индукция кубиков распределялась по параболическому закону.

Для того чтобы выяснить, как влияет размагничивающее поле призм на распределение индукции в них, измерялось изменение потока индукции намагниченных призм в железном ярме. На рис. 3 показано распределение намагниченности призм, снятое в ярме. Из этих графиков следует, что поток индукции, замыкающийся через ярмо, значительно больше у призм намагниченных в замкнутой цепи, чем в открытой цепи. Это и понятно, если принять во внимание распределение остаточного намагничения элементов призм, данное на рис. 2.

Что же касается внешнего поля вокруг призм, намагниченных тем и другим способом, то наложение ярма на призмы, намагниченные в замкнутой цепи, мало уменьшает напряженность внешнего поля. Наоборот, внешнее поле призм, намагниченных в открытой цепи, значительно снижается, когда такую призму мы помещаем в ярмо. На рис. 4 показано изменение напряженности составляющей поля, перпендикулярной оси призмы. Эти графики, полученные при помощи автоматического магнит-

ного полемера (³), показывают, что разность напряженностей поля вокруг призм без ярма и в ярме, намагниченных в открытой цепи, значительно больше, чем такая же разность для призм, намагниченных в замкну-

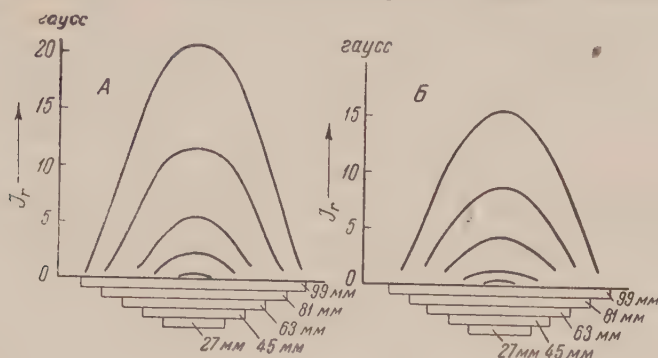


Рис. 3. Распределение остаточной индукции B_r призм, снятое при заключении призм в железное ярмо: А — призмы намагничены в открытой цепи; Б — призмы намагничены в замкнутой цепи

той цепи. Такая закономерность наблюдается для составляющей поля, параллельной оси призм.

Указанные выше закономерности намагничивания призм объясняются в основном следующим: при намагничивании призм в замкнутой цепи намаг-

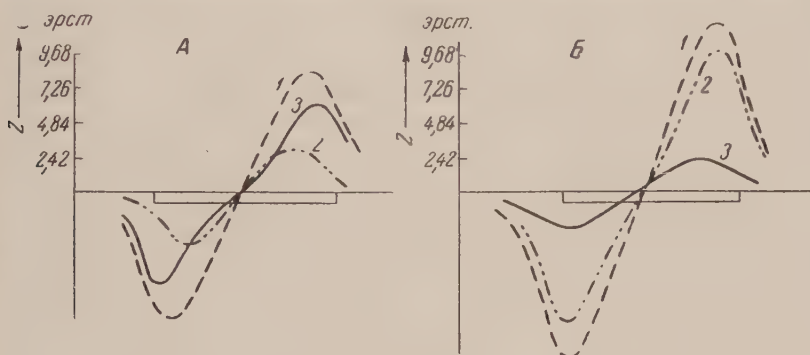


Рис. 4. Распределение поля Z образца, снятое при заключении образца в ярмо и без ярма: А — образец намагничен в открытой цепи; Б — образец намагничен в замкнутой цепи; 1 — поле образца без ярма, 2 — поле образца в ярме, 3 — разность этих полей

нивающее поле однородно и остаточная индукция каждого элемента призмы одинакова; размагничивающее поле в большей своей части возникает после изъятия образца из замкнутой цепи; при намагничивании в открытой цепи остаточная индукция образуется одновременно с возникновением размагничивающего поля, вследствие чего намагничивающее поле становится неоднородным и остаточная индукция в каждом элементе распределяется приблизительно по параболическому закону.

Поступило
17 IV 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. П. Корольков, ЖРФХО, 10, 396 (1908). ² Е. Т. Чернышев, Тр. ВНИИМ, в. 10 (70), 49 (1952). ³ А. Г. Калашников, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 6 (1954).

Б. Я. ПИНЕС и Э. Ф. ЧАЙКОВСКИЙ

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ГЕТЕРОДИФфуЗИИ В СПЛАВАХ, ОБРАЗУЮЩИХ ТВЕРДЫЕ
РАСТВОРЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 3 VII 1956)

1. Рентгенографическое измерение коэффициентов гетеродиффузии может найти приложение наряду с широко распространенными «радиоизотопными» методами ⁽¹⁾ в связи с благоприятными особенностями рентгенографических методов, позволяющими одновременно фиксировать и структуру (структурное состояние) образцов. До сих пор рентгеновское определение коэффициентов диффузии D выполнялось в большинстве случаев приблизительно: давалась оценка величины D на основании определения глубины x , на которую произошла диффузия за время t , по формуле $D \sim x^2/t$. Нахождение концентрационной зависимости D требует выяснения распределения концентраций в образце (в различные моменты времени). Эта задача может быть успешно решена рентгенографически в системе, где постоянная решетки обнаруживает достаточно заметную зависимость от концентрации, как это обычно имеет место в сплавах металлов, образующих растворы замещения. Разумеется, распределение концентраций можно рентгенографически определить только в слое, глубина которого порядка толщины так называемого полупоглощающего рентгеновского слоя $1/\mu$, где μ — коэффициент поглощения применяемого рентгеновского излучения. Осуществляя для простоты одномерное распределение концентраций, можно выполнить решение указанной задачи так. На плоскую массивную пластинку одного из компонентов I должен наноситься плоский же слой другого II толщины $l < 1/\mu$. От подобного образца, если направить на него пучок рентгеновских лучей со стороны компонента II, можно получить рентгенограмму с интерференционными линиями обоих компонентов.

В простейшем случае, когда оба компонента будут обладать одинаковой решеткой, различающейся лишь размерами элементарной ячейки, можно будет наблюдать на рентгенограмме по две линии с одинаковыми индексами отражения на некотором расстоянии друг от друга. Если составную пластинку нагреть до температур, достаточных для осуществления диффузии, в результате последней в пластинке появится некоторое распределение концентраций по глубине $c = c(x)$ и возникнет соответствующее изменение постоянной кристаллической решетки a с глубиной.

По зависимости постоянной решетки от концентрации, являющейся в первом приближении линейной: $a = a_1 + (a_2 - a_1)c$, можно легко определить изменение угла, под которым должна наблюдаться интерференционная линия от слоя на глубине x с концентрацией раствора, равной c . Как всегда, $\sin \theta = \frac{\lambda}{2a} (\Sigma h_i^2)^{1/2}$ (в простейшем случае кубического кристалла).

Суммарное рентгеновское отражение данной линии от слоев, находящихся на разной глубине, будет соответствовать наложению интерференций, получаемых под разными углами в соответствии с зависимостью a от x (через посредство c).

Если в слое толщины l получится вся гамма концентраций от 0 до 1, на рентгенограмме будет наблюдаться размытая полоса в интервале углов между линиями обоих компонентов. Интенсивность dI_1 отражения слоем толщины dx на глубине x выразится формулой $dI_1 = I_0 q e^{-\mu k x}$, где I_0 — интенсивность первичного пучка; q — множитель, учитывающий освещаемую площадь, «коэффициент отражения» первичного пучка и т. п.; k — коэффициент пути лучей в образце: $k = 1 + |1/\cos 2\theta|$, когда первичный пучок направлен перпендикулярно поверхности образца;

$$dI_1/I = \mu k e^{-\mu k x} dx,$$

где I — интенсивность отражения от «бесконечно» толстого слоя ($x \rightarrow \infty$) для сплава той же концентрации, $I = I_0 q / \mu k$. Интегрируя это соотношение по глубине от 0 до x (концентрацию считаем меняющейся от c_0 до c), полу-

чим $e^{-\mu k x} = 1 - \frac{1}{I} \int_{c_0}^c dI_1$, или

$$x(c) = - \frac{\ln \left[1 - \frac{1}{I} \int_{c_0}^c dI_1 \right]}{\mu k} \quad (1)$$

При интегрировании было принято, что μk равно среднему по концентрации значению этой величины.

Величина интеграла $\int_{c_0}^c dI_1$ есть суммарная интенсивность отражения на участке размытой полосы от места линии одного из компонент (концентрация c_0) до точки, соответствующей концентрации c ; последняя легко определяется по величине постоянной решетки и углу θ .

Величина I представляет интегральную интенсивность той же линии для сплава среднего состава. Пусть $L = L(s)$ есть кривая распределения интенсивности в зависимости от угла (по оси абсцисс отложено смещение s , пропорциональное углу) для размытой полосы, наблюдаемой при рентгенографическом исследовании образца, обладающего градиентом концентраций. Полная интенсивность полосы на имеющемся графике, взятом в произвольном масштабе, будет характеризоваться суммой $I = \alpha \sum_0^{s_0} L \Delta s = \alpha \Omega$, где α — некоторый коэффициент; Ω — площадь кривой; s_0 — ши-

рина полосы, а величина интеграла $\int_{c_0}^c dI_1$ представится выражением $\alpha \sum_0^{s_0} L \Delta s$

с тем же коэффициентом пропорциональности α , который не войдет в отношение указанных величин, фигурирующее в (1).

Таким образом, по экспериментальной кривой распределения интенсивности легко получить данные для построения кривой $x = x(c)$:

$$x(c) = - \frac{\ln \left[1 - \frac{1}{\Omega} \sum_0^s L \Delta s \right]}{\mu k}. \quad (2)$$

Тем самым может быть установлено распределение $c = c(x)$.

Дифференцируя уравнение (1) по c , найдем:

$$\frac{dx}{dc} = \frac{L}{\Omega} \frac{e^{\mu k x}}{\mu k} M, \quad (2')$$

где $M = ds/dc$ — константа, характеризующая масштаб интерференционной полосы, получаемой на рентгенограмме образца, в единицах c ; остальные обозначения указаны выше.

Формула (2') удобна для непосредственного определения градиентов

концентрации в точках с разным x . С помощью этой формулы можно определять dc/dx , не прибегая к дифференцированию кривой распределения $c = c(x)$.

В предыдущих рассуждениях не учтено еще, что интерференционная линия даже в случае однородного по концентрации образца имеет некоторую конечную ширину Δs_0 и характеризуется какой-то функцией распределения интенсивности $F(s)$ в пределах этой ширины. Экспериментальная кривая $L(s)$ получается в результате наложения семейства смещенных кривых вида $F(s)$. В точках $L(s)$, отстоящих от края полосы на расстояния больше Δs_0 , суммируются ординаты всех участков последовательных смещенных кривых $F(s)$.

Если же взять точки в $L(s)$, отстоящие от края меньше чем на Δs_0 , то суммирование ординат всех участков $F(s)$ уже не получается. Чтобы внести поправку на эту неточность, обязанную конечной «инструментальной» ширине интерференционной линии, достаточно умножить ординаты участков полосы $L(s)$, прилегающих к краям, на отношение $\int_{\Delta s_0}^{\Delta s} F(s) ds / \int_0^{\Delta s} F(s) ds$, где Δs — расстояние рассматриваемой ординаты от края полосы $L(s)$.

II. Описанный выше способ должен оказаться особенно удобным для определения коэффициентов диффузии в образцах, приготовленных путем нанесения тонкого покрытия (порядка нескольких десятков микрон), толщина которого приблизительно равна толщине полупоглощающего слоя у разных металлов, для наиболее подходящего при структурных исследованиях рентгеновского излучения длины волны $\sim 1,5-2$ Å. После надлежащей термической обработки (диффузионной выдержки на протяжении Δt_0) в прилегающем к поверхности слое образца, имеющем толщину порядка толщины покрытия, получится некоторое распределение концентраций $c = c(x)$, которое можно будет определить с помощью рентгеноструктурного исследования указанным выше путем. По кривой распределения $c(x)$ и значениям dc/dx можно будет вычислить в функции от концентрации значения «суммарного» коэффициента гетеродиффузии D , входящего в уравнение $\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right)$ (2). Для практического проведения вычислений написанное дифференциальное уравнение целесообразно переписать в конечных разностях, после чего оно приводится путем простых преобразований к виду

$$\frac{1}{\Delta t_0} \int_{x_1}^{x_2} \Delta c dx = \left[D \frac{\partial c}{\partial x} \right]_{x_2} - \left[D \frac{\partial c}{\partial x} \right]_{x_1}; \quad (3)$$

здесь x_1 и x_2 — координаты двух произвольно выбранных точек, для которых определены также и градиенты $\partial c / \partial x$, а Δc — изменение значений c в тех же точках, возникшее вследствие диффузии за время Δt_0 .

На участке, где D не зависит от концентрации, его значение D_0 можно найти по формуле

$$D_0 = \frac{\frac{1}{\Delta t_0} \int_{x_1}^{x_2} \Delta c dx}{[\partial c / \partial x]_{x_2} - [\partial c / \partial x]_{x_1}}. \quad (4)$$

Значение D при любом другом c определяется по (3), если известно D_0 .

Имеем $\frac{1}{\Delta t_0} \int_{x_1}^{x_2} \Delta c dx = \left[D \frac{\partial c}{\partial x} \right]_{x_2} - D_0 \left[\frac{\partial c}{\partial x} \right]_{x_1}$, откуда

$$D(x_2) = \frac{\frac{1}{\Delta t_0} \int_{x_1}^{x_2} \Delta c dx + D_0 \left[\frac{\partial c}{\partial x} \right]_{x_1}}{[\partial c / \partial x]_{x_2}}. \quad (5)$$

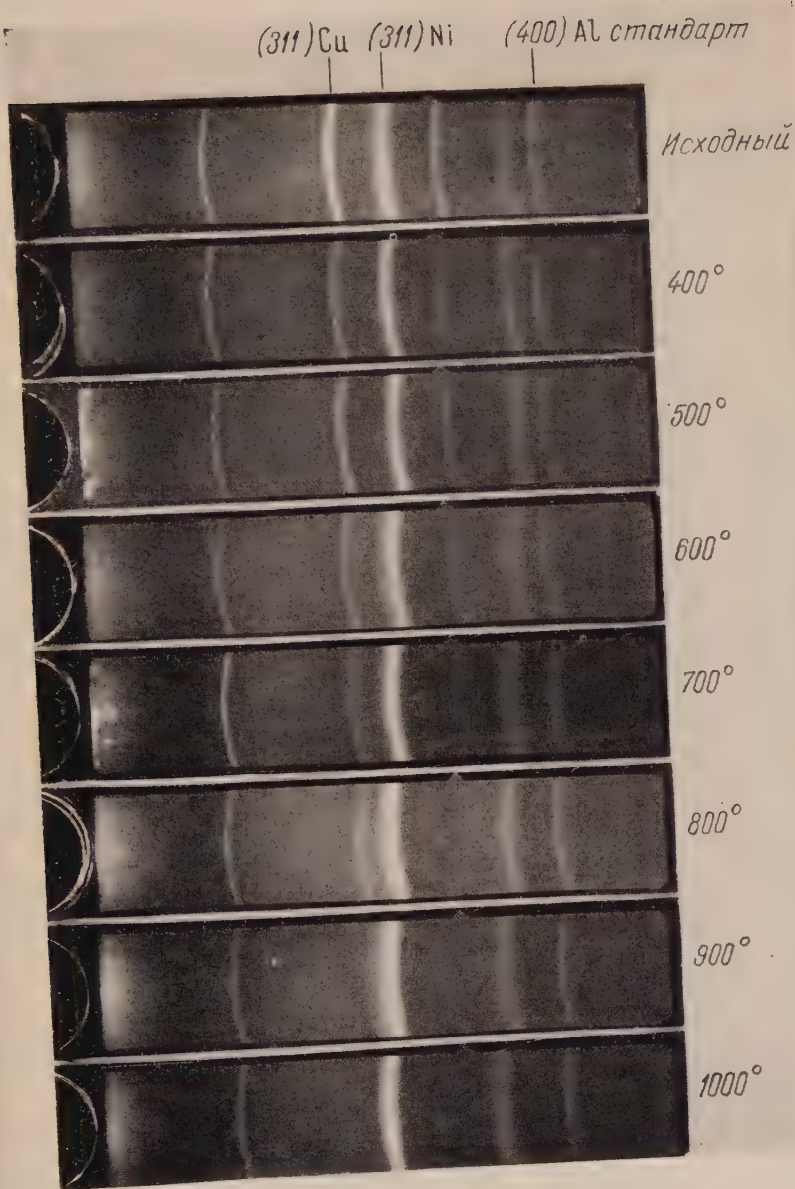


Рис. 1. Рентгенограммы диффузионного образца системы Cu — Ni. Оба компонента неравновесны, пленка Ni сверху (со стороны падения рентгеновых лучей). Излучение $K\alpha$ -Fe

Интервал концентраций, где D практически постоянен и можно определить D_0 , находят так. Откладывают на графике в произвольном масштабе

$\Delta c dx$, а также разность градиентов

$[dc/dx]_{x_1}^{x_2}$. На том участке, где обе кривые окажутся параллельными, D_0 постоянно.

III. В качестве примера приведем вычисления коэффициентов диффузии для одного образца системы Cu — Ni (электролитическая пленка Cu, покрытая электролитической Ni). На рис. 1 приводятся рентгенограммы этого образца в Fe-излучении, полученные после диффузионных отжигов при температурах от 400 до 1000°; при каждой температуре отжиг продолжался 1 час. На рис. 2 показана фотометрическая кривая размытой полосы рентгенограммы образца после отжига при 800°. Пунктиром отмечены значения $L(s)$ на концах, полученные путем введения поправки на инструментальную ширину линии.

Данные, помещенные в табл. 1, достаточны для определения коэффициента диффузии.

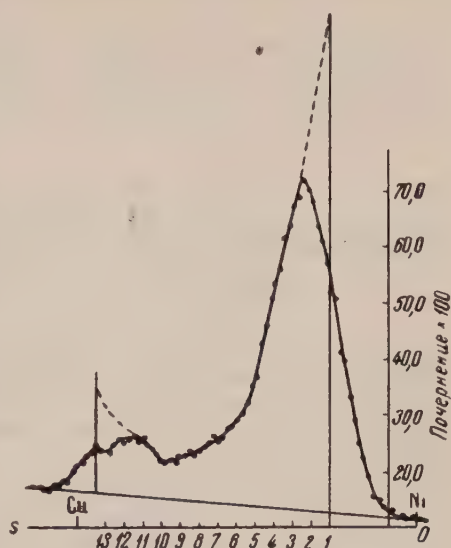


Рис. 2. Фотометрическая кривая линий (311) Cu и Ni рентгенограммы рис. 1, отжиг при 800°. Цифры 1—13 по оси $O'S$ указывают точки, в которых измерялись величины L .

Таблица 1

N_2	s , см	ат. % Cu	\bar{L} , см	$L \Delta c / \Omega$	$-\ln (1 - \Sigma \frac{\bar{L} \Delta s}{\Omega})$	μk , см $^{-1}$	$x \cdot 10^4$, см	dc/dx , см $^{-1}$
1	9,2	26	56,2	0,169	0,00	2170	0,00	350
2	11,0	31	37,4	0,113	0,29	2170	1,34	390
3	13,0	36	28,6	0,086	0,60	2170	2,76	380
4	15,0	42	20,2	0,061	0,90	2170	4,17	400
5	17,0	47	11,9	0,036	1,18	2180	4,40	520
6	19,0	53	7,6	0,023	1,40	2180	6,40	650
7	21,0	58	5,6	0,017	1,58	2180	7,20	740
8	23,0	64	4,8	0,014	1,73	2200	7,90	750
9	25,0	69	3,8	0,0115	1,90	2200	8,60	800
10	27,0	75	3,6	0,011	2,06	2220	9,30	730
11	29,0	81	5,0	0,015	2,28	2220	10,3	420
12	31,0	86	5,8	0,017	2,66	2240	12,0	250
13	33,0	92	7,8	0,023	3,50	2240	15,6	80

Указанным выше способом было установлено, что значения коэффициента D при 800° сравнительно постоянны при концентрации Cu от 32 до 50 ат. %. Было найдено $D_0 = 10 \cdot 10^{-11}$ см 2 /сек, $[dc/dx]_0 = 350$ см $^{-1}$. Эти данные использовались для нахождения значений D в интервале от 36 до 86 ат. % Cu. Получались величины D , монотонно возрастающие с концентрацией Cu от $D_0 = 10 \cdot 10^{-11}$ см 2 /сек до $D = 19,2 \cdot 10^{-11}$ см 2 /сек (для содержания Cu 86 ат. %).

Харьковский государственный университет
им. А. М. Горького

Поступило
29 III 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. А. Лбов, Усп. физ. наук, 42, в. 3, 409 (1950). ² В. З. Бугаков, Диффузия в металлах и сплавах, Гостехиздат, 1949.

Ю. И. УХАНОВ

ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ $p-n$ ПЕРЕХОДА В ГЕРМАНИИ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 22 VI 1956)

Оптические свойства $p-n$ перехода в последнее время изучали Гиссон, Леговек, Ньюман (10^{-5}) и др. Однако их установка позволяла пропускать через кристалл германия токи лишь относительно небольшой плотности. Мы воспользовались электрическими импульсами сложной формы с коэффициентом заполнения не более 5%. Это позволило подробнее исследовать явления поглощения и модуляции инфракрасного света, а также явление электролюминесценции при плотностях тока в импульсе на 2 порядка выше, чем это возможно в простом синусоидальном режиме.

Установка

На рис. 1 показана схема установки. Изображение нити лампочки накаливания на поверхности кристалла германия представляло собой световой

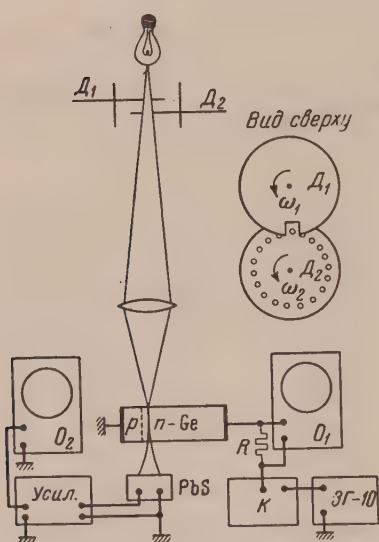


Рис. 1

зонд шириной 0,15 мм. После прохождения сквозь толщу германия излучение ($\lambda > 1,8 \mu$) направлялось на фотосопротивление PbS типа ФС-А1, электрический сигнал которого после усиления регистрировался на осциллографе ЭО-7 (O_2). На пути светового потока были помещены два вращающихся диска D_1 и D_2 для формирования светового сигнала сложной формы. Электрический импульс, подаваемый на диод, формировался из синусоиды несущей частоты ($f_{\max} = 22$ кгц) замыканием скользящего угольного контакта. Коэффициент заполнения импульса был 5%, а максимальный ток в импульсе достигал 20 мА. Форма и величина импульса тока через диод регистрировались на сопротивлении R осциллографом O_1 .

Схема позволяла подавать на германиевый диод световой и электрический импульсы одновременно. Диски D_1 и D_2 для этих экспериментов нами изгото-

товлялся из прямоугольного монокристалла n -германия с удельным сопротивлением 5 ом·см. Размеры монокристалла: в направлении электрического тока $l = 3$ мм, в направлении светового потока $d = 2$ мм, толщина $b = 0,5$ мм. Переход $p-n$ получался сплавлением торца бруска германия с индием в вакууме при температуре 500° в течение 2 мин. с последующим $1/2$ -часовым ступенчатым охлаждением (?). Контакт с противоположного торца получался сплавлением с оловом. Поверхность диода травилась в кипяще-

ригидроле в течение 20 мин. Диод помещался в окно металлической панели, щели в окне заливались непрозрачной для инфракрасных лучей смолой. Германию и олову припаивались медные проводники. Для каждого диода снималась вольт-амперная характеристика на экране осциллографа и сравнивалась с характеристикой ДГЦ - 7. Место и тип образовавшегося перехода определялись по максимуму фото-эдс. Результаты проверки образцов показаны в табл. 1.

Результаты исследований

Для характеристики явления модуляции света мы пользовались коэффициентом модуляции

$$\kappa = \frac{I_0 - I_1}{I_0}, \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность излучения, прошедшего через германиевый диод без электрического тока; I_1 — интенсивность излучения, прошедшего через диод при протекании по нему тока.

Коэффициент модуляции однозначно связан с коэффициентом поглощения введенных носителей:

$$I_0 = I_* e^{-kd}; \quad I_1 = I_* e^{-(k+h_1)d}, \quad (2)$$

где I_* — интенсивность излучения, входящего в кристалл; k — коэффициент поглощения носителями, находящимися в равновесном состоянии в кристалле; k_1 — коэффициент поглощения введенными носителями; d — толщина кристалла.

Отсюда

$$k_1 = \frac{1}{d} \ln \frac{1}{1-\kappa}.$$

Для определения коэффициента модуляции на германиевый диод одновременно подавались световой и электрический импульсы, причем длительность светового импульса была больше электрического. На экране

осциллографа O_2 регистрируется двойной импульс (рис. 2), который дает возможность непосредственно определить коэффициент модуляции.

Зависимость модуляции от тока. Измерения проведены для разных образцов диодов; ток пропускался импульсами прямоугольной формы в прямом направлении. Коэффициент модуляции возрастал с увеличением тока и стремился к предельному значению при больших токах. Величина коэффициента зависит от выпрямляющих свойств диода. Образец № 2, имевший максимальный коэффициент выпрямления, обладал и лучшими модулирующими свойствами (при токе $i = 2$ а $\kappa = 60\%$). При токе в обратном направлении прозрачность кристалла германия увеличивалась, однако наблюдаемый эффект модуляции мал вследствие небольшой силы тока в запиорном направлении.

Зависимость модуляции от положения зонда. При ширине светового зонда 0,15 мм диод перемещался в интервале 3 мм относительно зонда микрометрическим винтом. На рис. 3 для образца № 2 ($L = 0,031$ см, $\tau = 14$ мсек) показана зависимость коэффициента модуля-

Таблица 1

Образец	Тип перехода	Коэф. выпрямления B	$\epsilon_{\text{макс}} \cdot 10^3$, в	Коэф. модуляции κ , %	Время жизни τ , мсек
1	p-n	3,8	5,6	37	46
2	p-n	75,0	12,0	60	18
3	n-n'	2,0	0,9	10	—
4	p-n	4,0	4,0	17	56
ДГЦ-7	—	300,0	—	—	—

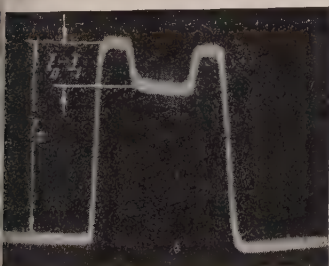


Рис. 2

ции и фото-эдс от положения светового зонда относительно перехода. Величина импульсов фото-эдс определялась в вентильном режиме, когда диод, освещаемый прерывистым светом, подсоединялся прямо к высокому входу осциллографа ЭО-7. Как видно на графике, кривые ϵ и κ идут параллельно в линейной своей части в полулогарифмических масштабах. По наклону линейного участка мы могли оценить диффузионную длину L . Этот метод ⁽⁶⁾ позволяет оценить среднее время жизни неосновных носителей τ , если коэффициент диффузии принять равным $D = 10 \text{ см}^2/\text{сек}$: $\tau = L^2/D$ (см. табл. 1).

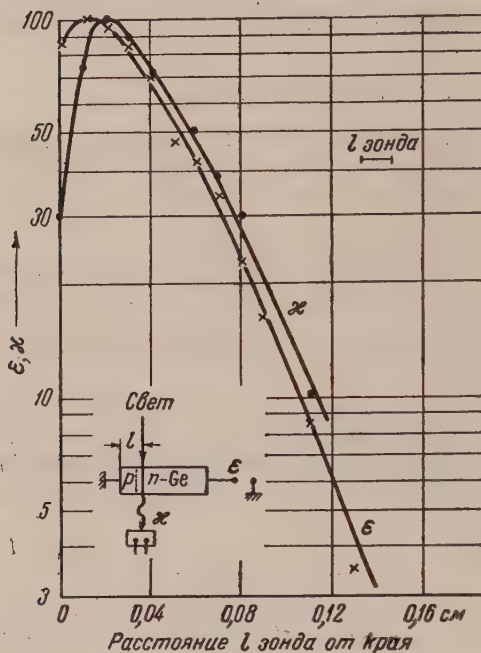


Рис. 3

Зависимость модуляции от несущей частоты. Предварительно мы изучили инерционность фотосопротивления PbS для этого PbS освещалось импульсами света, по форме и по длительности соответствовавшими импульсам тока через германиевый диод. Несущая частота задавалась диском D_2 (см. рис. 1). При увеличении скорости вращения диска D_2 несущая частота достигала 20 кГц.

Форма светового импульса изучалась с помощью германиевого фотодиода, в котором свет падал прямо на $p-n$ -переход. Такая регистрация оказалась почти безынерционной.

Электрические сигналы несущей частоты получались от генератора ЗГ-10 в интервале 20 гц — 20 кГц. Таким образом, световой контрольный импульс, так же как и электрический рабочий импульс тока через диод, были модулированы несущей частотой в интервале 20 гц — 20 кГц «до дна». При этом было установлено, что, ввиду инерционности фотосопротивления PbS форма импульса напряжения на PbS искажалась в том и другом случае одинаково (рис. 4). На основании измерений амплитуды импульсов при разных несущих частотах, а также в результате сравнения амплитуд

ϵ и κ идут параллельно в линейной своей части в полулогарифмических масштабах. По наклону линейного участка мы могли оценить диффузионную длину L . Этот метод ⁽⁶⁾ позволяет оценить среднее время жизни неосновных носителей τ , если коэффициент диффузии принять равным $D = 10 \text{ см}^2/\text{сек}$: $\tau = L^2/D$ (см. табл. 1).

Результаты исследований пространственной зависимости модуляции и фото-эдс для других образцов несколько отличны от результатов рис. 3 либо по различиям наклонов линейных участков (у образца № 4 зависимость κ более пологая, чем ϵ), либо по смещению максимумов функций κ и ϵ (у образца № 1 это смещение достигало 0,8 мм). Как указано в табл. 1, образец № 3 имел переход типа $p-n'$ на границе германия с оловом. Эффект модуляции в нем также наблюдался, однако он детально не исследовался.

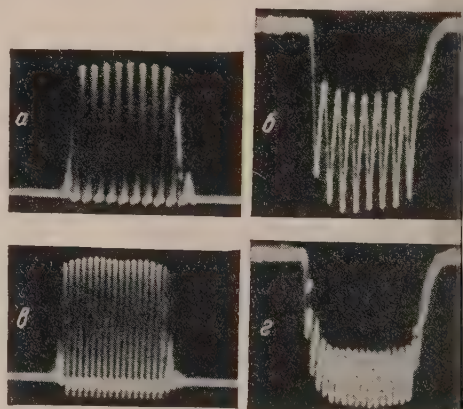


Рис. 4. а — импульс тока через диод $f = 20 \text{ кГц}$; б — импульс напряжения на PbS $f = 20 \text{ кГц}$; в — импульс тока через диод $f = 10 \text{ кГц}$; г — импульс напряжения на PbS $f = 10 \text{ кГц}$.

ущей частоты в гребне импульса с частотной характеристикой PbS установлено, что частотная характеристика эффекта модуляции для всех образцов имела незначительный завал в области верхних звуковых частот. Если бы удалось получить эффект модуляции на кремниевом диоде, его частотную характеристику можно исследовать безынерционным германиевым диодом, так как начало эффекта модуляции кремния ($\lambda > 1,2\mu$) лежит в спектральной области фоточувствительности германия.

Электролюминесценция. На установке рис. 1 мы наблюдали и свечение германиевого диода. К сожалению, окно PbS было рассчитано лишь на узкий световой поток, и поэтому использовалась лишь большая часть излучения диода, и свечение удавалось регистрировать только при больших значениях тока через диод в пропускном направлении (> 50 ма). Первые оценочные измерения позволяют сказать, что свечение увеличивается с увеличением прямого тока и мало зависит от несущей частоты.

Метод, разработанный нами, позволяет, таким образом, проследить как отдельные, так и одновременно во взаимной связи все фотоэлектрические явления, протекающие в одном и том же объеме кристалла около n перехода.

Поступило
14 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

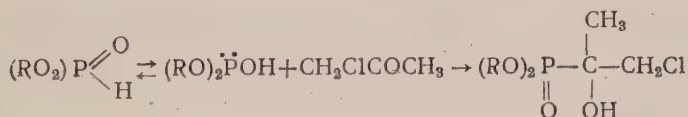
- ¹ A. F. Gibson, Proc. Phys. Soc., B, **66**, 588 (1953). ² K. Lehovec, Proc. Inst. Rad. Eng IRE, **40**, 1407 (1952). ³ R. Newman, Phys. Rev., **91**, 1311 (1953). ⁴ H. B. Briggs, R. C. Fletcher, Phys. Rev., **91**, 1342 (1953). ⁵ K. Lehovec, J. Appl. Phys., **26**, 495 (1955). ⁶ F. S. Groucher, Phys. Rev., **81**, 475 (1951). ⁷ A. Coblenz, Transistors Theory and Applications, London, 1955.

В. С. АБРАМОВ и А. С. КАПУСТИНА

ЭФИРЫ α -ОКСИ- β -ХЛОР-ИЗО-ПРОПИЛФОСФИНОВОЙ
и 1,2-ЭПОКСИ-2-ПРОПИЛФОСФИНОВОЙ КИСЛОТ

(Представлено академиком А. Е. Арбузовым 20 VI 1956)

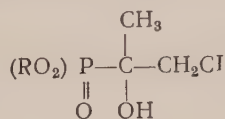
Диалкилфосфористые кислоты конденсируются с различными альдегидами и кетонами (1). Реакция протекает легко и энергично в присутствии катализаторов, — это алкоголяты щелочных металлов или органические вещества, имеющие основной характер. Реакции конденсации идут и в отсутствие катализаторов, энергично — с такими карбонильными соединениями, как хлораль (2), гекса- и пентахлорацетоны, и умеренно — с нитробензальдегидами и бензальдегидом. Наличие заместителя, усиливающего полярность карбонильной группы, способствует реакции конденсации. В настоящей статье описываются результаты исследований реакции конденсации диалкилфосфористых кислот с хлорацетоном, которая происходит без катализатора при нагревании. Наиболее благоприятная температура в интервале 100—120°. Реакция протекает относительно медленно. ход реакции контролировался периодическим измерением коэффициента преломления света. Реакция продолжалась до тех пор, пока рефракция не становилась постоянной. Конденсация, надо полагать, идет с энольной формой диалкилфосфористых кислот, поэтому реакцию можно представить схемой



полученные продукты конденсации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эфиры α -окси- β -хлор-изо-ропилфосфиновой кислоты

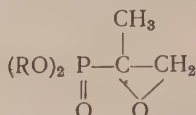


R	Температура плавл. в °C	Выход в %	Содержание Cl в %		Содержание P в %	
			найдено	вычислено	найдено	вычислено
H ₃	73—74	58,7	17,15; 17,33	17,53	15,11; 15,02	15,30
C ₂ H ₅	47—48	65,3	15,21; 15,11	15,41	13,50; 13,23	13,45
C ₃ H ₇	79—80	57,9	12,95; 12,97	13,73	12,05; 11,70	11,99
C ₄ H ₉	Вязкое	50,6	12,21; 12,25	12,39	10,70; 10,67	10,82
C ₄ H ₉	прозр. масло 76—77	48,4	12,24; 12,32	12,39	10,80; 10,92	10,82

Фениловый эфир α -окси- β -хлор-*изо*-пропилфосфиновой кислоты был получен Конантом с сотрудниками ⁽³⁾ при обработке фенолом продуктом реакции треххлористого фосфора и хлорацетона. Сама кислота не описана.

Таблица 2

Эфиры 1,2-эпокси-2-пропилфосфиновой кислоты



R	Температура кипения в °C	Выход в %	n_D^{20}	d_4^{20}	$M_R D$		Содержание Р в %	
					найдено	вычислено	найдено	вычислено
C_2H_5	96—97/6	79,5	1,4305	1,1138	45,04	45,54	15,75; 15,80	15,9
<i>n</i> - C_3H_7	95,97/6	41,2	1,4252	1,0383	54,64	54,76	13,80; 13,90	13,8
C_4H_9	139—140/5	32,1*	1,4365	1,0313	63,46	64,00	12,25; 12,40	12,4
<i>n</i> - C_4H_9	125—127/6	58,5	1,4333	1,0239	63,56	64,00	12,30; 12,30	12,4

* Отщепление производилось от сырого продукта конденсации, по отношению к которому и дан выход. Если учесть потери при очистке продукта конденсации, то выход примерно удваивается.

Полученные эфиры подвергались обработке спиртовым раствором едкого кали. Как и следовало ожидать, мы получили эфиры 1,2-эпокси-2-пропилфосфиновой кислоты, представленные на табл. 2. Эфиры представляют бесцветные жидкости, перегоняющиеся без заметного разложения. Отщепление водорода гидроксильной группы и образование окисного кольца делает невозможным ассоциацию молекул через водородную связь (4). С — Р-связь становится прочной.

Показано, что диалкилфосфористые кислоты реагируют при нагревании без катализатора с хлорацетоном и дают эфиры α -окси- β -хлор-*изо*-пропилфосфиновой кислоты. Последние при отщеплении хлороводорода переходят в эфиры 1,2-эпокси-2-пропилфосфиновой кислоты, С — Р-связь которых становится прочной.

Казанский химико-технологический институт
им. С. М. Кирова

Поступило
8 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. С. Абрамов, А. С. Назмутдинова, ЖОХ, 25, 1141 (1955)
- ² W. F. Barthel, P. A. Ging, S. A. Hall, J. Am. Chem. Soc., 76, 4186 (1954)
- ³ J. B. Conant, V. H. Wallingford, S. S. Gandheker, J. Am. Chem. Soc., 45, 762 (1923).
- ⁴ В. С. Абрамов, Л. П. Семенова, Л. Г. Семенов, ДАН, 84, 281 (1952)

М. М. АЗАНОВСКАЯ и В. И. ПАНСЕВИЧ-КОЛЯДА

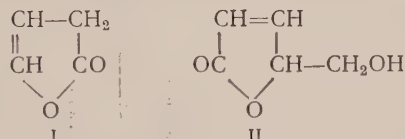
ДЕЙСТВИЕ ГИДРОПЕРЕКИСИ АЦЕТИЛА НА АЛКИЛФУРИЛОВЫЕ СПИРТЫ

(Представлено академиком А. Е. Арбузовым 26 VI 1956)

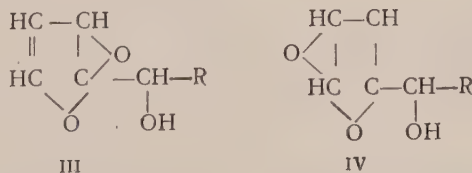
Действие надкислот, в том числе и гидроперекиси ацетила, на непредельные углеводороды и некоторые производные их является одним из методов синтеза соединений, содержащих в молекуле α -окисное кольцо.

Исследования, проводившиеся по окислению гидроперекисью ацетила непредельных окси-соединений жирного и жирно-ароматического рядов (¹⁻³) показали, что синтезированные этим методом спирто- и феноло-окиси являются весьма интересными соединениями, причем свойства их в значительной мере определяются их строением.

Окисление гетероциклических соединений надкислотами изучено далеко не достаточно. Окисление первого представителя спиртов фуранового ряда — фурилового спирта было осуществлено Безекемом (⁴), который, окислив фуриловый спирт двумя молями гидроперекиси ацетила, получил до 80% смолы и лишь в небольшом количестве дигидрофуранон-2 (I) и лактон (II)

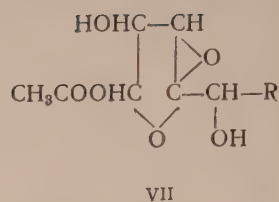
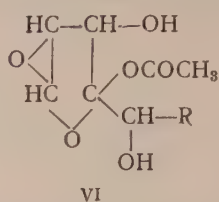
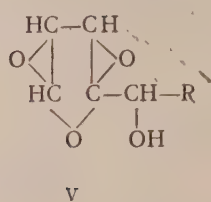


Нам представлялось интересным исследовать действие гидроперекиси ацетила на алкилфуриловые спирты с различными радикалами в боковой цепи при различных условиях окисления. Основываясь на работах по окислению надкислотами диеновых углеводородов (⁵) и непредельных спиртов с двумя двойными связями в молекуле (^{1,6}) можно было ожидать при окислении алкилфуриловых спиртов получения различных продуктов, а именно: в случае окисления одной двойной связи в молекуле алкилфуриловых спиртов — образования двух изомерных спиртомоноокисей (III—IV)



в случае окисления двух двойных связей в молекуле алкилфуриловых спиртов — образования спиртодиокси (V) и двух изомерных окисей моно-

ацетатов трехатомных спиртов (VI и VII):



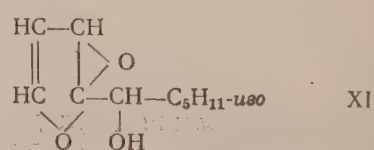
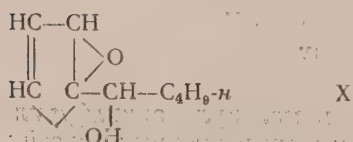
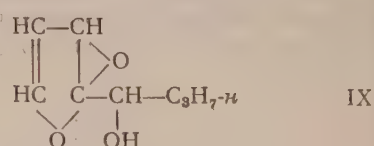
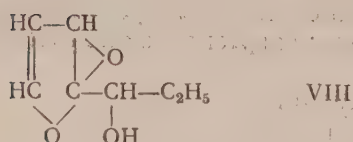
Принимая во внимание тот факт, что при окислении фурфурилового спирта и других производных фуранового ряда надкислотами часто образуются продукты окисления с значительно измененным углеродным скелетом, и учитывая также то, что алкилфурриловые спирты весьма склонны к раскрытию фуранового цикла под влиянием различных реагентов (при действии спиртов в присутствии хлороводорода (7), при реакции гидратации в присутствии кислот (8,9), при реакции гидрирования (10) и т. д.), мы могли ожидать при окислении алкилфурриловых спиртов гидроперекисью ацетила образования, кроме соединений с α -окисным кольцом, также продуктов с открытой цепью углеродных атомов.

Нами проведено окисление гидроперекисью ацетила следующих спиртов фуранового ряда: этилфуррилового спирта, *n*-пропилфуррилового спирта, *n*-бутилфуррилового спирта, *изо*-амилфуррилового спирта. Спирты окислялись гидроперекисью ацетила из расчета окисления одной двойной связи спирта (одна грамм-молекула гидроперекиси на одну грамм-молекулу спирта) и окисления двух двойных связей спирта (две грамм-молекулы гидроперекиси на одну грамм-молекулу спирта).

Таблица 1

α -Окиси алкилфурриловых спиртов

№№ формул	Т. пл. в °С	С в %		Н в %		ОН в %		Выход в %
		вычисл.	найд.	вычисл.	найд.	вычисл.	найд.	
VIII	69,5—71	59,45	59,04	7,04	6,98	11,97	11,80	48
IX	57,5—59,5	61,53	61,25	7,69	7,80	10,89	10,62	62,7
X	82—83	63,52	63,26	8,23	8,29	10,00	10,13	72,6
XI	60—61,5	65,21	65,08	8,64	9,09	9,23	9,02	30



Окисление спиртов проводилось 90—95%-й гидроперекисью ацетила в растворе абсолютного эфира при температуре 20—25°. По окончании окисления продукты реакции нейтрализовались водным раствором соды, после чего исследовались отдельно продукты, растворимые в эфире и перешедшие в водный слой. Нами найдено, что при окислении алкилфуриловых спиртов одним молем гидроперекиси ацетила основными продуктами реакции являются моноокиси алкилфуриловых спиртов (VIII, IX, X, XI), которые представляют собой бесцветные кристаллические вещества, растворимые в органических растворителях (табл. 1).

Оксид *n*-бутилфурилового спирта (X) при нагревании с хлористым цинком и при длительном хранении разлагается. Одним из продуктов разложения окиси оказался *n*-валериановый альдегид, идентифицированный нами по продукту конденсации с димедоном. Образование *n*-валерианового альдегида могло произойти благодаря отщеплению от молекулы окиси *n*-бутилфурилового спирта (X) боковой цепи. Установленный факт расщепления моноокиси X с образованием альдегида за счет отщепления боковой цепи дает нам основание из 2 возможных формул строения моноокисей алкилфуриловых спиртов (III и IV) считать формулу III более вероятной, так как подобный распад с образованием альдегидов наблюдался неоднократно⁽¹¹⁻¹³⁾ для спиртоокисей, у которых спиртовая группа находится в β, α -положении к окисному кольцу.

При окислении алкилфуриловых спиртов двумя молями гидроперекиси ацетила из продуктов реакции по окончании окисления только в случае окисления *n*-бутилфурилового спирта выделено некоторое количество моноокиси, по свойствам идентичной с моноокисью X. Основная масса продуктов реакции, полученных при окислении спиртов двумя молями гидроперекиси ацетила, в конце реакции оказывалась в водном слое и представляла собой смесь веществ — кислот и альдегидов, получившихся, по видимому, в результате расщепления первоначально образовавшихся нестойких окисей. Так, в продуктах окисления *n*-бутилфурилового спирта найден *n*-валериановый альдегид, муравьиная кислота, уксусная кислота (как продукт расщепления гидроперекиси ацетила) и смесь замещенных карбоновых кислот не установленного строения.

В продуктах окисления этилфурилового спирта найден пропионовый альдегид, муравьиная и уксусная кислоты и смесь замещенных карбоновых кислот, строение которых установить не удалось. Альдегиды идентифицированы по продуктам конденсации с димедоном, муравьиная и уксусная кислоты идентифицированы соответствующими качественными реакциями. Если реакцию окисления алкилфуриловых спиртов двумя молями гидроперекиси ацетила не доводить до конца, а остановить ее, разрушив гидроперекись и нейтрализовав уксусную кислоту водным раствором соды, то в продуктах реакции можно наблюдать наличие значительного количества моноокисей алкилфуриловых спиртов.

Количество моноокисей убывает по мере окисления алкилфуриловых спиртов, т. е. с уменьшением количества гидроперекиси в продуктах реакции (табл. 2).

Этот факт указывает на то, что при окислении алкилфуриловых спиртов двумя молями гидроперекиси ацетила первичными продуктами реакции являются моноокиси алкилфуриловых спиртов. Продукты, образующиеся из моноокисей за счет окисления второй двойной связи алкилфуриловых

Таблица 2

Окисление *n*-бутилфурилового спирта (два моля гидроперекиси на один моль спирта)

Время от начала реакции (в час.)	Количество моноокиси (в % к теоретич.)	Количество гидроперекиси ацетила (в % к взятой в реакцию)
24	60,2	40,0
30	32,8	20,5
36	15	8,0
48	5	0,6

спиртов, повидимому, неустойчивы и легко разлагаются с отщеплением боковой цепи и расщеплением циклической части молекулы по —C—C— и —C—O— связям.

Институт химии
Академии наук БССР

Поступило
25 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. А. Прилежаев, Органические перекиси и их применение для окисления непредельных соединений, Варшава, 1912. ² В. И. Пансевич-Коляда, В. А. Аблова, ЖОХ, **24**, 493 (1954). ³ В. И. Пансевич-Коляда, З. Б. Идельчик, ЖОХ, **25**, 2215 (1955). ⁴ I. Böeseken, C. Vermij, H. Bunge, C. V. Meepwen, Chem. Zbl., **2**, 3478 (1931). ⁵ В. И. Пансевич-Коляда, Т. С. Стригалёва, З. Б. Идельчик, Сборн. статей по общей химии, **2**, 1418 (1953). ⁶ Н. А. Прилежаев, ЖРХО, **43**, 609 (1911). ⁷ М. И. Ушаков, В. Ф. Кучеров, ЖОХ, **14**, 1073 (1944). ⁸ R. Pummerer, W. Gump, Ber., **56**, 999 (1923). ⁹ R. Pummerer, O. Guyot, L. Birkofer, Ber., **68**, 480 (1935). ¹⁰ L. W. Covert, R. Connor, H. Adkins, J. Am. Chem. Soc., **54**, 1653 (1932). ¹¹ Neff, Lieb. Ann., **332**, 232 (1904). ¹² E. P. Kohler, N. K. Richtmyer, W. F. Hester, J. Am. Chem. Soc., **53**, 205 (1931). ¹³ В. И. Пансевич-Коляда, Л. А. Курейчик, ЖОХ, **24**, 231 (1954).

Ю. А. АРБУЗОВ и Б. Л. ДЯТКИН

ДИЕНОВЫЙ СИНТЕЗ С ХЛОРМЕТИЛВИНИЛКЕТОНОМ

(Представлено академиком А. Н. Несмеяновым 3 VII 1956)

В настоящей работе описывается реакция диенового синтеза с участием хлорметилвинилкетона, который недавно стал доступным для препаративных целей, но еще не был использован в органическом синтезе.

В реакцию с хлорметилвинилкетонам нами были введены следующие диеновые углеводороды: бутadiен-1,3, изопрен, 2,3-диметилбутadiен-1,3, цикlopentadiен, циклогексадиен-1,3 и 1,1'-дициклогексенил*. С цикlopentadiеном хлорметилвинилкетон реагирует с сильным разогреванием. Продукт реакции 1-хлорацетил-2,5-эндометиленциклогексен-3 получен с выходом 95%. Реакция хлорметилвинилкетона с 2,3-диметилбутadiеном-1,3 начинается при нагревании и затем проходит со значительным выделением тепла. Выход 1-хлорацетил-3,4-диметилциклогексена-3 92%. Присоединение хлорметилвинилкетона к изопрену, циклогексадиену-1,3 1,1'-дициклогексенилу проводилось на кипящей водяной бане. Выход 1-хлорацетил-4-метилциклогексена-3 93%; выход 1-хлорацетил-2,5-эндометиленциклогексена-3 80%; выход 1-хлорацетил-2,3,4,5-дициклогексаноциклогексена-3 49%. Реакция хлорметилвинилкетона с бутadiеном-1,3 проводилась путем пропускания бутadiена-1,3 в кипящий бензольный раствор хлорметилвинилкетона. 1-Хлорацетилциклогексен-3 получен лишь с выходом 37%, причем анализ аддукта показал заниженное на 1% содержание углерода. Вероятно, аддукт загрязнен димером хлорметилвинилкетона.

Полученные нами 1-хлорацетилциклогексен-3 и его замещенные производные при восстановлении цинковой пылью и ледяной уксусной кислотой при нагревании гладко превращаются в соответствующие ацетильные производные. Например, при восстановлении продукта присоединения хлорметилвинилкетона к изопрену был получен 1-ацетил-4-метилциклогексен-3, откуда следует, что этот аддукт является 1-хлорацетил-4-метилциклогексеном-3.

Экспериментальная часть

Получение хлорметилвинилкетона. Присоединением хлорацетилхлорида к этилену в присутствии хлористого алюминия был получен с выходом 79% 1,4-дихлорбутанон-2, имевший т. кип. 90—93° при 17 мм, n_D^{20} 1,4781, d_4^{20} 1,0389; MR_D найдено 30,49, вычислено для $C_4H_6OCl_2$ 30,42.

Литературные данные (1): т. кип. 68° при 0,2 мм; (2): т. кип. 81° при 2,5 мм, n_D^{17} 1,4785; (3): т. кип. 65° при 3 мм, n_D^{20} 1,480, d_4^{20} 1,3295.

Путем отщепления от 1,4-дихлорбутанона-2 хлористого водорода с помощью диэтиланилина был получен с выходом 50% хлорметилвинилке-

* Все опыты проводились в присутствии гидрохинона.

тон с т. кип. 56,5—57° при 31 мм, n_D^{20} 1,4690, d_4^{20} 1,1451; MR_D найдено 25,42, вычислено для C_4H_5OCl \lceil 25,08.

Литературные данные ⁽²⁾: т. кип. 87° при 107 мм, 74—75° при 57 мм, n_D^{20} 1,4708; ⁽⁴⁾: т. кип. 37—39° при 10 мм, 70° при 60 мм, 89—90° при 140 мм, n_D^{20} 1,4675, d_4^{20} 1,2604.

Хлорметилвинилкетон и циклопентадиен. В колбу, снабженную обратным холодильником, помещалось 12,4 г (0,118 мол.) хлорметилвинилкетона и через холодильник в течение 20 мин. небольшими порциями добавлялось 12,4 г (0,188 мол.) циклопентадиена. Ввиду сильного разогревания смеси колба время от времени охлаждалась погружением в холодную воду. После прибавления всего циклопентадиена смесь нагревалась на кипящей водяной бане 1 час и затем перегонялась в вакууме. Получено 19,2 г (95%) 1-хлорацетил-2,5-эндометиленициклогексена-3 с т. кип. 86—88° при 3 мм. После повторной перегонки аддукт имел т. кип. 92° при 4 мм, n_D^{20} 1,5134, d_4^{20} 1,1747; MR_D найдено 43,67, вычислено для $C_9H_{11}OCl$ \lceil 43,77.

Найдено %: С 63,30; 63,49; Н 6,60; 6,77; Cl 20,37; 20,67
 $C_9H_{11}OCl$. Вычислено %: С 63,35; Н 6,50; Cl 20,78

Хлорметилвинилкетон и 2,3-диметилбутадиен-1,3. Смесь 14,0 г (0,136 мол.) хлорметилвинилкетона и 12,3 г (0,150 мол.) 2,3-диметилбутадиена-1,3 нагревалась в колбе, снабженной обратным холодильником, до начала взаимодействия. Бурная реакция длилась около 15 мин. Затем смесь нагревалась на кипящей водяной бане 2 часа и перегонялась в вакууме. Получено 23,3 г (92%) 1-хлорацетил-3,4-диметилциклогексена-3 с т. кип. 121—123° при 8 мм. После второй перегонки т. кип. 118—119° при 6 мм, n_D^{20} 1,5020, d_4^{20} 1,0872; MR_D 50,67, вычислено для $C_{10}H_{15}OCl$ \lceil 50,59.

Найдено %: С 64,45; 64,35; Н 8,20; 8,20; Cl 18,72; 18,89
 $C_{10}H_{15}OCl$. Вычислено %: С 64,33; Н 8,10; Cl 19,00

Хлорметилвинилкетон и циклогексадиен-1,3. Смесь 13,3 г (0,127 мол.) хлорметилвинилкетона и 13,2 г (0,165 мол.) циклогексадиена-1,3 нагревалась в запаянной ампуле на кипящей водяной бане в течение 10 час. После разгонки в вакууме получено 18,9 г (80%) 1-хлорацетил-2,5-эндотиленициклогексена-3 с т. кип. 121—124° при 8 мм. После повторной перегонки т. кип. 104,5—105° при 3 мм, n_D^{20} 1,5226, d_4^{20} 1,1725; MR_D найдено 48,08, вычислено для $C_{10}H_{13}OCl$ \lceil 48,39.

Найдено %: С 64,99; 65,05; Н 7,24; 7,30; Cl 19,23; 19,60
 $C_{10}H_{13}OCl$. Вычислено %: С 65,04; Н 7,10; Cl 19,20

При восстановлении 1-хлорацетил-2,5-эндотиленициклогексена-3 цинковой пылью и ледяной уксусной кислотой был получен 1-ацетил-2,5-эндотиленициклогексен-3 с т. кип. 85—86,5° при 7,5 мм, n_D^{20} 1,4958, d_4^{20} 1,0167; MR_D найдено 43,12, вычислено для $C_{10}H_{14}O$ \lceil 43,52; т. пл. семикарбазона 181—183°.

Литературные данные ⁽⁵⁾: т. кип. 106—106,5° при 20 мм, n_D^{20} 1,4938, d_4^{20} 1,0152; т. пл. семикарбазона 183—184°; ⁽⁶⁾: т. кип. 106—107° при 18 мм, n_D^{20} 1,4951.

Хлорметилвинилкетон и изопрен. Смесь 12,5 г (0,118 мол.) хлорметилвинилкетона и 12,5 г (0,183 мол.) изопрена нагревалась в колбе, снабженной обратным холодильником, на водяной бане. В течение 2 час. температура бани постепенно повышалась до 95°. Затем колба нагревалась на кипящей водяной бане в течение 7 час. Получено 19,1 г (93%) 1-хлорацетил-4-метилциклогексена-3 с т. кип. 110—111,5° при 9 мм.

После повторной перегонки аддукт имел т. кип. $115,5^\circ$ при 11 мм, n_D^{20} 1,4989, d_4^{20} 1,1024; MR_D найдено 45,99, вычислено для $C_9H_{13}OClF$ 45,97.

Найдено %: С 62,64; 62,64; Н 7,77; 7,92; Cl 20,61; 20,76
 $C_9H_{13}OCl$. Вычислено %: С 62,61 Н 7,59; Cl 20,54

При восстановлении 1-хлорацетил-4-метилциклогексена-3 цинковой пылью и ледяной уксусной кислотой получен 1-ацетил-4-метилциклогексен-3 с т. кип. $73-75^\circ$ при 7,5 мм, n_D^{20} 1,4690, d_4^{20} 0,9342; MR_D найдено 41,20, вычислено для $C_9H_{14}O$ 41,01; т. пл. семикарбазона $148,5-149,5^\circ$; т. пл. *n*-нитрофенилгидразона $168-170^\circ$.

Литературные данные (5): т. кип. $94,2-94,7^\circ$ при 20 мм, n_D^{20} 1,4704, d_4^{20} 0,9408, т. пл. семикарбазона 151° ; т. пл. *n*-нитрофенилгидразона $166-168^\circ$; (7): т. кип. $85-86^\circ$ при 13 мм, т. пл. семикарбазона 149° ; (8): т. кип. $91-91,5^\circ$ при 20 мм, n_D^{20} 1,4706, d_4^{20} 0,9373; (6): т. кип. $91-92^\circ$ при 18 мм, n_D^{20} 1,4720.

Хлорметилвинилкетон и 1,1'-дициклогексенил. Смесь 10,5 г (0,10 мол.) хлорметилвинилкетона и 16,2 г (0,10 мол.) 1,1'-дициклогексенила нагревалась на кипящей водяной бане в течение 7 час. При охлаждении застывшая масса растиралась с петролейным эфиром, кристаллы отсасывались и промывались петролейным эфиром. Получено 13,0 г (49%) 1-хлорацетил-2,3,4,5-дициклогексаноциклогексена-3 с т. пл. $100-101,5^\circ$. После перекристаллизации из этанола т. пл. $104,5-105^\circ$.

Найдено %: С 72,06; 72,14; Н 8,76; 8,81; Cl 13,34; 13,32
 $C_{16}H_{23}OCl$. Вычислено %: С 72,02; Н 8,69; Cl 13,29

Хлорметилвинилкетон и бутадие-1,3. В колбу, снабженную обратным холодильником и газоприводной трубкой, помещался раствор 17,0 г (0,161 мол.) хлорметилвинилкетона в 30 мл бензола. В нагреваемый до кипения раствор пропускался в течение 9 час. умеренный ток бутадие-1,3. Затем бензол отгонялся, а остаток фракционировался в вакууме. Получено 9,5 г (37%) 1-хлорацетилциклогексена-3 с т. кип. $94-96^\circ$ при 6 мм, n_D^{20} 1,5010, d_4^{20} 1,1395; MR_D найдено 41,05, вычислено для $C_8H_{11}OClF$ 41,35.

Найдено %: С 59,56; 59,58; Н 7,23; 7,06; Cl 22,43; 22,59
 $C_8H_{11}OCl$. Вычислено %: С 60,57; Н 6,99; Cl 22,35

При восстановлении 1-хлорацетилциклогексена-3 цинковой пылью и ледяной уксусной кислотой был получен 1-ацетилциклогексен-3 с т. кип. $69,5-70,5^\circ$ при 12 мм, n_D^{20} 1,4711, d_4^{20} 0,9565; MR_D найдено 36,29, вычислено для $C_8H_{12}OF$ 36,49; т. пл. семикарбазона $164-165^\circ$; т. пл. *n*-нитрофенилгидразона $141-142^\circ$.

Литературные данные (5): т. кип. $79,5-80^\circ$ при 20 мм, n_D^{20} 1,4698, d_4^{20} 0,9584; т. пл. семикарбазона $165-166^\circ$; т. пл. *n*-нитрофенилгидразона $142-143^\circ$; (7): т. кип. 71° при 14 мм; т. пл. семикарбазона 164° ; (8): т. кип. $77,5-78,5^\circ$ при 20 мм, n_D^{20} 1,4698, d_4^{20} 0,9580; (6): т. кип. $77-79^\circ$ при 18 мм, n_D^{20} 1,4698.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
11 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. Baddeley, H. T. Taylor, W. Pickles, J. Chem. Soc., 1953, 124.
² J. R. Catch, D. F. Elliott et al., J. Chem. Soc., 1948, 278. ³ R. H. Carroll, G. B. L. Smith, J. Am. Chem. Soc., 55, 370 (1933). ⁴ W. E. Bissinger, R. H. Freudenburg et al., J. Am. Chem. Soc., 69, 2955 (1947). ⁵ А. А. Петров, ЖОХ, 11, 309 (1941). ⁶ А. А. Петров, Н. П. Сопов, ЖОХ, 24, 298 (1954). ⁷ K. Alder, W. Vogt, Lieb. Ann., 564, 109 (1949). ⁸ А. А. Петров, Н. П. Сопов, ЖОХ, 22, 591 (1952).

Л. А. ИГОНИН, Э. Г. ГИНЦБЕРГ, Н. А. КРАСУЛИНА
и академик В. А. КАРГИН

К ВОПРОСУ О КИНЕТИКЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ ФЕНОЛЬНО-ФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ С ПОМОЩЬЮ ГЕКСАМЕТИЛЕНТЕТРАМИНА

Конденсация фенолов с формальдегидом принадлежит к числу наиболее давно известных реакций поликонденсации, и ее кинетика изучалась многими исследователями. Главное внимание в этих работах уделялось кинетике смолообразования при взаимодействии фенолов с формальдегидом в водных растворах.

Как известно, в процессе отверждения фенольно-формальдегидных смол образуются неплавкие и нерастворимые продукты, что весьма усложняет исследование этой реакции. В настоящем сообщении приведены результаты термомеханического исследования процесса отверждения фенольно-формальдегидных смол с помощью гексаметилентетрамина в присутствии ряда добавок, являющихся донорами свободных радикалов.

Образцы для исследования готовились путем прессования таблеток из смеси смолы, гексаметилентетрамина, пластификатора и различных добавок по такому режиму, при котором полученный образец

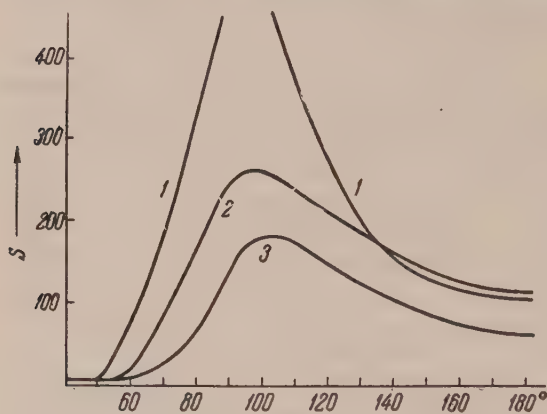


Рис. 1

сохранял термореактивность. Во всех случаях в качестве пластификатора применялся дибутилфталат. Количество пластификатора, гексаметилентетрамина и добавок выражено в весовых процентах по отношению к весу смолы.

На рис. 1 приведены термомеханические кривые, снятые в процессе отверждения фенольно-формальдегидной смолы под влиянием гексаметилентетрамина, а также гексаметилентетрамина с добавками перекиси бензоила и бензальдегида. Исследовались смеси следующего состава: 1) новолачная смола, 5% гексаметилентетрамина, 20% дибутилфталата (кривая 1); 2) новолачная смола, 5% гексаметилентетрамина, 20% дибутилфталата, 5% перекиси бензоила (кривая 2); 3) новолачная смола, 5% гексаметилентетрамина, 20% дибутилфталата, 5% бензальдегида (кривая 3).

Образцы готовились по следующему режиму: смеси указанного выше состава отверждались при 110° в течение 20 мин. и затем прессовались в таблетки при 120° , выдержке 5 мин. и давлении 60 кг/см^2 .

Термомеханическая кривая для термореактивного образца характеризуется наличием резко выраженного пика, возникающего в силу того

го смола сразу за областью стеклования переходит в вязко-текущее состояние и затем отверждается. Отверждение сопровождается возрастанием модуля эластичности смолы, и кривая идет вниз. Поскольку все образцы приготовлены по строго одинаковому режиму, величина пика на термомеханической кривой характеризует скорость отверждения смолы. Из рассмотрения данных, приведенных на рис. 1, следует, что добавка перекиси бензоила и бензальдегида, являющихся источниками свободных радикалов при термическом распаде, приводит к ясно выраженному ускорению процесса отверждения фенольно-формальдегидной смолы под влиянием гексаметилен-тетрамина.

На рис. 2 приведены термомеханические кривые, полученные в процессе отверждения новолачной фенольно-формальдегидной смолы в присутствии гексаметилен-тетрамина и добавок серии ускорителей вулканизации каучука. При этом кривая 1 рис. 2 относится к образцам, полученным из смеси следующего состава: новолачная смола, 5% гексаметилен-тетрамина и 20% дибутилфталата. Кривые 2—5 относятся

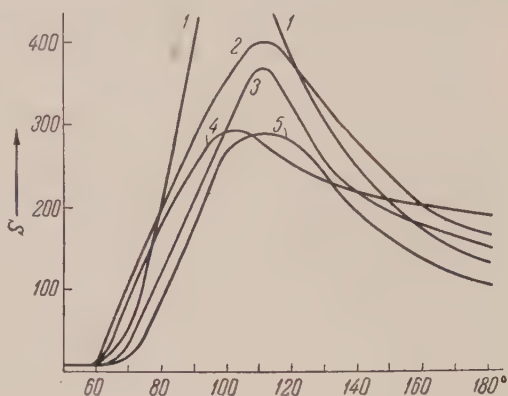


Рис. 2

к образцам аналогичного состава, но с добавкой 5% следующих ускорителей вулканизации каучука: тиурама (кривая 2), дифенилгуанидина (кривая 3), каптакса (кривая 4) и альтакса (кривая 5). Режим приготовления образцов оставался прежним за исключением времени выдержки при прессовании (10 мин.).

В этом случае также имеет место ускорение процесса отверждения смолы под влиянием свободных радикалов, возникающих при термическом распаде ускорителей вулканизации каучука.

Следует отметить, что без гексаметилен-тетрамина все указанные выше добавки сами по себе не вызывают отверждения новолачной фенольно-формальдегидной смолы при нагревании вплоть до 200°.

На рис. 3 приведены результаты отверждения новолачной фенольно-формальдегидной смолы под влиянием гексаметилен-тетрамина с добавкой хинона, а также бензальдегида и хинона. При этом кривая 1 относится к образцам, полученным из смеси состава: новолачная смола, 5% гексаметилен-тетрамина, 20% дибутилфталата и 5% хинона; кривая 2 — к образцам, полученным из смеси аналогичного состава, но с добавкой 5% бензальдегида. Образцы готовились по режиму, принятому для смесей новолачной смолы и ускорителей вулканизации каучука.

Можно было ожидать, что добавка хинона, являющегося одним из широко известных ингибиторов свободно-радикальных процессов, приведет к торможению процесса отверждения смолы. Рассмотрение данных рис. 3 подтверждает это заключение. Резкое снижение термомеханической кривой

при температурах выше 150—160° является, главным образом, следствием происходящего в этом случае термического разложения образцов. Таким образом, результаты термомеханического исследования процесса отверждения новолачных смол под влиянием гексаметилентетрамина в присутствии ряда веществ, являющихся донорами свободных радикалов, приводят к заключению, что отверждение новолачных смол, по крайней мере в одной из стадий, осуществляется по свободно-радикальному механизму.

Поступило
8 VIII 1956

М. О. КОРШУН, Н. Э. ГЕЛЬМАН и К. И. ГЛАЗОВА

ОДНОВРЕМЕННОЕ МИКРООПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРА, УГЛЕРОДА И ВОДОРОДА В ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ

(Представлено академиком А. Н. Несмеяновым 14 VI 1956)

В ранее опубликованной работе ⁽¹⁾ нами была доказана возможность количественного сжигания органических фторидов при их пиролитическом разложении в слое накалиной окиси магния в присутствии газобразного кислорода. Замечательное свойство окиси магния полностью удерживать фтор было положено в основу метода количественного одновременного микроопределения углерода, водорода и фтора, причем углерод и водород определялись как обычно ⁽²⁾, а фтор — по изменению веса кварцевой пробирки с окисью магния, в которой он поглощался в виде фторида магния.

Дальнейшая работа над методом, проведенная Н. С. Шевелевой на большом экспериментальном материале, показала, что пиролитическое сжигание в слое окиси магния дает устойчивые и исключительно надежные результаты по углероду и водороду для фторорганических соединений разнообразного состава и свойств. Напротив, весовое определение фтора, несмотря на количественное поглощение его окисью магния, носит ориентировочный характер из-за неблагоприятного весового фактора пересчета, а также вследствие недостаточного постоянства веса кварцевой пробирки с окисью магния, в которой проводится сжигание.

Наши дальнейшие исследования были направлены к тому, чтобы найти путь для количественного определения фтора, находящегося в слое окиси магния в виде фторида магния, и таким образом получить надежный способ одновременного определения всех трех элементов. Для этой цели мы использовали свойство фторидов некоторых металлов пирогидролизаться, т. е. разлагаться под действием перегретого водяного пара с выделением HF и MeO ^(3,4). Наиболее благоприятными условиями, при которых пирогидролиз нескольких миллиграммов MgF_2 заканчивался в течение 20—25 мин., оказались температура 1000° и скорость пара, соответствующая 0,5 мл конденсата в минуту. При более низкой температуре (900°) продолжительность пирогидролиза резко возрастает и измеряется часами, повышения же температуры выше 1000° при работе с окисью магния в кварцевой аппаратуре следует остерегаться вследствие быстрого разрушения кварцевых трубок. Увеличение скорости пара приводит к образованию плотных пробок гранулированного препарата окиси магния, препятствующих быстрому пирогидролизу, снижение же скорости до 0,3 мл конденсата в минуту вызывает значительное замедление процесса.

Эти наблюдения легли в основу способа одновременного определения углерода, водорода и фтора, который заключается в следующем. Анализируемое вещество (4—10 мг) сжигают в токе кислорода в слое накалиной до 1000° гранулированной окиси магния длиной 15—18 см. Окись магния находится в кварцевой гильзе с решетчатым дном, помещенной в пустую трубку для сжигания. По окончании сжигания поглотительные аппараты взвешивают как обычно, а гильзу с окисью магния подвергают обработке перегретым паром в условиях, указанных выше. По мере хода пирогидролиза фтористый водород поступает вместе с конденсатом в приемник, и

фтор определяется титрованием. Одно определение С, Н и F продолжается 1,5 часа. Окись магния после кратковременного подсушивания снова идет в употребление.

Если анализируемое вещество, кроме С, Н, О, N и F, содержит другие элементы, например фосфор, бор или кремний, которые при сжигании задерживаются в окиси магния в виде соединений, не разлагаемых паром, то фтор в конденсате можно титровать как щелочью, так и азотнокислым торием. В присутствии же других галоидов и серы, дающих с окисью магния пирогидролизующие соли, фтор титруют только азотнокислым торием. По нашим наблюдениям, сера задерживается окисью магния полностью, а хлор и бром — лишь частично. Для поглощения галоидов применяется, как обычно, металлическое серебро ⁽²⁾. Титры щелочи и азотно-кислого тория устанавливают сжиганием чистых фторорганических соединений.

При помощи описанного метода можно определять углерод, водород и фтор из одной навески элементоорганических соединений, содержащих фосфор, бор, кремний, галоиды, серу, азот. Результаты анализов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Название и формула вещества	С в %			Н в %			F в %		
	найдено	вычисл.	разница	найдено	вычисл.	разница	найдено	вычисл.	разница
п-Фторкоричная кислота $C_9H_6O_2F$	65,15 65,26	65,06	+0,09 +0,21	4,22 4,25	4,25	-0,03 —	11,30 11,41	11,44	-0,14 -0,03
Трифторацетамид $C_2H_5ONF_3$	21,38 21,31	21,25	+0,13 +0,06	2,01 1,88	1,78	+0,23 +0,11	50,31 50,29	50,42	-0,11 -0,13
Политетрафторэтилен $(C_2F_4)_n$	23,96 24,04	24,02	-0,06 +0,02	0,1 —	—	+0,1 —	76,19 76,07	75,98	+0,21 +0,09
Перфтортриэтиламин $C_6F_{15}N$	19,60 19,53	19,42	+0,18 +0,11	0,11 0,19	—	+0,11 +0,19	77,09 76,61	76,80	+0,29 -0,19
Борофторид дифенилен- фенилосония $C_{18}H_{13}OBF_4$	64,90 65,17	65,11	-0,21 +0,05	4,09 3,97	3,94	+0,15 +0,03	22,83 22,85	22,88	-0,05 -0,03
β-Фторэтиловонитрофени- ловый эфир метилтио- фосфиновой кислоты $C_9H_{11}O_4NPSF$	38,73 38,71	38,69	+0,04 +4,02	4,03 4,01	3,96	+0,07 +0,05	6,88 6,91	6,80	+0,08 +0,11
Амид α-гидроперфтор- пропионовой кисл. + +триметил-(γ-диэтил- аминопропил)-силан $C_9H_6ONF_4 + C_{10}H_{25}SiN$	44,76 45,92	44,96 45,72	-0,20 +0,20	7,93 8,27	7,91 8,14	+0,02 +0,13	25,60 24,43	25,54 24,52	+0,06 +0,09

Примечание. Все анализы выполнены с навесками 5—9 мг.

Поступило
24 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

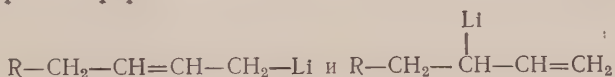
- ¹ Н. Э. Гельман, М. О. Коршун, ДАН, **89**, № 4, 685 (1953). ² М. О. Коршун, Н. Э. Гельман, Новые методы элементарного микроанализа, М., 1949.
³ J. C. Warf, W. D. Cline, R. D. Tevebauch, Anal. Chem., **26**, 343 (1954).
⁴ C. D. Susano, J. C. White, J. E. jr Lee, Anal. Chem., **27**, 453 (1955).

В. А. КРОПАЧЕВ, Б. А. ДОЛГОПЛОСКОК и К. В. ДАНИЛОВИЧ

ИЗОМЕРИЗАЦИЯ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АЛЛИЛЬНОГО ТИПА

(Представлено академиком В. А. Каргиным 28 VI 1956)

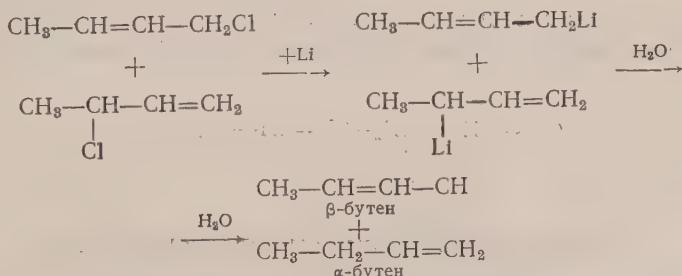
Процесс изомеризации непредельных соединений с перемещением двойной связи (аллильная перегруппировка) давно привлекает внимание исследователей и изучался подробно на ряде аллильных производных. В последние годы появились также работы, в которых указывается на возможность изомеризации непредельных углеводородов под влиянием металлического натрия. Так, Мортон с сотрудниками ⁽¹⁾ показали, что α -олефины с прямой цепью легко изомеризуются в β -олефины. Ипатьев с сотр. ⁽²⁾ нашли, что бутен-1 и дecen-1 изомеризуются в цис- и транс- β -бутены и decены, соответственно, причем реакция сильно ускоряется в присутствии таких веществ (промоторов), как о-хлортолуол, антрацен и т. п. Авторы делают предположение, что эти превращения проходят через стадию металлоорганических соединений. Предположение о возможности аллильной таутомерии металлоорганических соединений было сделано еще Циглером ⁽³⁾ в связи с изучением структуры полибутадиена. Реакционноспособный конец растущего литийалкильного полимера Циглер представил как смесь таутомерных форм:



Изучение вопроса изомеризации металлоорганических соединений представляет интерес в связи с выяснением механизма полимеризации.

Настоящее исследование посвящено экспериментальной проверке предположения о существовании равновесных изомерных форм литийорганических соединений аллильного типа. Из смеси изомерных бутенилхлоридов нами по методике, применяемой для синтеза бутиллития ⁽⁴⁾ была получена смесь изомерных литийорганических соединений.

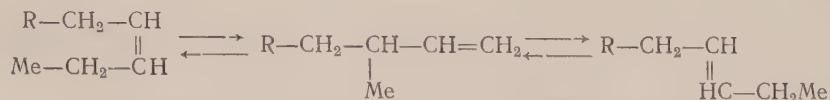
При разложении водой получали смесь бутенов, состав которой характеризовал соотношение соответствующих форм литийорганических соединений. Все реакции можно представить следующими уравнениями:



Состав смеси бутенов определялся разгонкой на аналитической микроколонке Дементьевой ⁽⁵⁾. Характерные кривые разгонки приведены на

Необходимо также отметить, что подобные представления могут быть применены для объяснения механизма образования цис-транс-звеньев в цепи в процессе полимеризации.

Прямой переход цис- \rightleftharpoons транс-форм изомеров требует значительной энергии активации. Более вероятным кажется прохождение реакции по следующей схеме:



На состояние равновесия изомерных форм в этом случае также могут оказывать влияние указанные выше факторы.

Институт высокомолекулярных соединений
Академии наук СССР

Поступило
29 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА









- ¹ A. Morton, D. March et al., J. Am. Chem. Soc., **72**, 3785 (1950); A. Morton, J. Org. Chem., **20**, 839 (1955). ² H. Pines, J. Veseley, V. N. Ipatieff, J. Am. Chem. Soc., **77**, 347 (1955). ³ K. Ziegler, F. Dersch, H. Wolltham, Ann., **511**, 19 (1934); K. Ziegler, H. Grimm, R. Willer, Ann., **542**, 90 (1939). ⁴ К. А. Кочешков, Т. В. Талалаева. Синтетические методы в области металлоорганических соединений, в. I, ч. I—V, стр. 26 (1949). ⁵ М. И. Дементьева, Анализ углеводородных газов, 1953, стр. 192. ⁶ Т. В. Талалаева, К. А. Кочешков, ДАН, **77**, 621 (1951). ⁷ Н. Г. Чернова, Б. М. Михайлов, ЖОХ, **25**, 2280 (1955). ⁸ Б. А. Долгопоск, В. А. Кропачев, Н. И. Николаев, ДАН, **110**, № 5 (1956). ⁹ G. Wittig, Angew. Chem., **62**, 231 (1950).

Н. С. НАМЕТКИН, академик А. В. ТОПЧИЕВ и Т. И. ЧЕРНЫШЕВА

СИНТЕЗ НЕКОТОРЫХ СОЕДИНЕНИЙ КРЕМНИЯ С ЦИКЛОАЛКИЛЬНЫМИ РАДИКАЛАМИ

В нашей работе⁽¹⁾ было показано, что трибромсилан присоединяется к непредельным углеводородам с высокими выходами. В связи с этим представлялось интересным сопоставить активность бромидов кремния, содержащих связь Si — H, в реакциях с непредельными углеводородами с аналогичными хлоридами кремния. В настоящем сообщении описываются реакции взаимодействия соединений кремния, содержащих связь Si — H, с циклогексеном и метилциклопентеном. Реакции проводились при ультрафиолетовом облучении и в присутствии перекиси бензоила.

Таблица 1

Формулы	Т. кип. в °С	Давление в мм рт. ст.	Катализатор*	Т-ра реакции в °С	Продолжит. опыта в час.	Выход в %
 SiCl ₃	194—196	747	<i>a</i>	53	46	20,76
 SiBr ₃	113—114	4	<i>a</i>	93	46	70
 SiCl ₃ CH ₃	190—192	754	<i>a</i>	78—80	65	13,6
 SiBr ₃ CH ₃	139—141	9	<i>a</i>	110	65	70
 CH ₂ SiCl ₂	84—85	5	<i>a</i>	200	6	19,7
 CH ₂ SiBr ₂	104—106	2	<i>b</i>	90	12	15,5
 C ₂ H ₅ SiBr ₂	101—102	5	<i>b</i>	80	16	10,7
 C ₂ H ₅ SiBr ₂	150—152	7	<i>b</i>	80	16	44

* *a* — ультрафиолетовое облучение, *b* — перекись бензоила, *в* — платинированный уголь.

Сравнивая выхода циклоалкилтрихлорсиланов (табл. 1), полученных при ультрафиолетовом облучении, видно, что они ниже выходов циклоалкилтрибромсиланов, полученных нами в аналогичных условиях ранее⁽¹⁾.

интересно отметить, что даже в опыте, проведенном с перекисью бензоила, выход циклогексилтрихлорсилана ниже полученного для циклогексилтриомсилана при фиолетовом облучении.

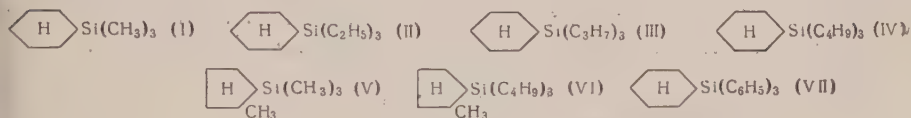
При сравнении опытов присоединения алкилдибромсиланов и алкилдиорсиланов к циклогексену видно также, что алкилдибромсиланы более активны в реакциях с непредельными углеводородами. При проведении реакции метилдихлорсилана с циклогексеном как при ультрафиолетовом облучении, так и в присутствии перекиси бензоила продукта присоединения наружено не было. Циклогексилметилдихлорсилан нам удалось получить лишь в присутствии более активного катализатора — платинированного геля.

На основе полученных циклоалкилгалонидсиланов нами был получен гидроксиметилуглеводородов — циклоалкилтриалкилсиланов, свойства которых приводятся в табл. 2.

Таблица 2

№№ формул	Т. кип. в °С	Давление в мм рт. ст.	Т. пл. в °С	n_D^{20}	d_4^{20}	MR_D		Выход в %
						найд.	выч.	
I*	84—85	10	—98,5	1,4487	0,8221	50,97	51,30	85
II	236—238	756	—83,7	1,4661	0,8475	64,70	65,19	86,5
III	128—130	5	—70,5	1,4684	0,8482	78,72	79,08	47
VI	142,5—144	2	—62	1,4700	0,8494	93,23	92,78	74
V	163—165	745	—	1,4461	0,8160	51,32	51,30	63
VI	136—140	2	—68	1,4674	0,8480	92,83	92,97	68
VII	230	3	227	—	—	—	—	20

Примечание.



* Литературные данные (2) для C₆H₁₁Si(CH₃)₃: n_D^{20} 1,4477; d_4^{20} 0,8163.

Экспериментальная часть

Циклогексилтрихлорсилан. а) Из 41 г циклогексена и 25,3 г трихлорсилана при ультрафиолетовом облучении получено 6,5 г (выход 21%) циклогексилтрихлорсилана.

б) Из 50 г циклогексена и 94 г трихлорсилана в присутствии 4 г перекиси бензоила получено 73,2 г (выход 57,9%) циклогексилтрихлорсилана. Т. кип. 194—196° при 756 мм; d_4^{20} 1,2296; n_D^{20} 1,4796; MR_D найдено 50,19, вычислено 50,20.

Найдено %: Cl 48,63; 48,52
C₆H₁₁SiCl₃. Вычислено %: Cl 48,68

Литературные данные (3) для C₆H₁₁SiCl₃: т. кип. 199°.

Метилциклопентилтрихлорсилан. Из 32 г метилциклопентена-1 и 54 г трихлорсилана при ультрафиолетовом облучении получено 11,6 г (выход 13,6%) метилциклопентилтрихлорсилана. Т. кип. 80—82° при 5 мм; d_4^{20} 1,2114; n_D^{20} 1,4716; MR_D найдено 50,29, вычислено 50,25.

Найдено %: Cl 49,13; 49,12
C₆H₁₁SiCl₃. Вычислено %: Cl 49,70

Циклогексилметилдибромсилан. Из 21 г циклогексена и 17,8 г метилдибромсилана (взято 51 г фракции с т. кип. 93—100°,

полученный из продукта реакции бромистого метила с кремнием в токе НВ₂ (содержащей 35% метилдибромсилана) в присутствии 5 г перекиси бензоила получено 7 г (выход 28,1%) циклогексилметилдибромсилана. Т. кип. 104—106° при 5 мм; d_4^{20} 1,5846; n_D^{20} 1,5887; MR_D найдено 56,51, вычислено 56,56

Найдено %: Br 55,17; 54,76
 $C_7H_{14}SiBr_2$. Вычислено %: Br 55,90

Циклогексилметилдихлорсилан. 40 г циклогексена и 57 г метилдихлорсилана в присутствии 0,3 г платинированного угля нагревались в автоклаве в течение 6 час. при температуре 200°. Получено 16,4 г циклогексилметилдихлорсилана (выход 19,7%). Т. кип. 200—205° при 747 мм; n_D^{20} 1,4718; d_4^{20} 1,0473; MR_D вычислено 52, 56; найдено 52, 64

Найдено %: Cl 35,48; 36,19
 $C_7H_{14}SiCl_2$. Вычислено %: Cl 36,04

Литературные данные (4): т. кип. 204° при 745 мм.

Циклогексилэтилдибромсилан. Из 21 г циклогексена и 11,7 г этилдибромсилана (взято 53 г фракции с т. кип. 130—145°, полученной из продуктов реакции бромистого этила с кремнием, содержащей 22% этилдибромсилана) в присутствии 5 г перекиси бензоила получено 7,1 г (выход 44%) циклогексилэтилдибромсилана. Т. кип. 150—152° при 7 мм; d_4^{20} 1,5157; n_D^{20} 1,5326; MR_D найдено 61,39, вычислено 61,07.

Найдено %: Br 53,14; 53,66
 $C_8H_{16}SiBr_2$. Вычислено %: Br 53,33

Циклогексилэтилдихлорсилан. Из 10 г циклогексена и 36 г этилдихлорсилана в присутствии 4 г перекиси бензоила получено 6,3 г (выход 10,7%) циклогексилэтилдихлорсилана. Т. кип. 101—102° при 2 мм; d_4^{20} 1,0789; n_D^{20} 1,4749; MR_D найдено 54,86, вычислено 55,07.

Найдено %: Cl 32,43; 32,09
 $C_8H_{16}SiCl_2$. Вычислено %: Cl 33,65

Получение кремний углеводов

Циклогексилтриалкилсиланы получались через литийорганический синтез. Циклогексилтрифенилсилан получался присоединением трифенилсилана к циклогексену в присутствии платинированного угля.

Циклогексилтриметилсилан. Из 4 г лития, 30 г иодистого метила и 4,6 г циклогексилметилдибромсилана получено 2,2 г (выход 85%) циклогексилтриметилсилана. Т. кип. 84—85° при 10 мм.

Найдено %: C 69,09; 69,20; H 12,83; 12,95
 $C_9H_{20}Si$. Вычислено %: C 69,15; H 12,89

Циклогексилтриэтилсилан. Из 3 г магния, 15 г бромистого этила и 6 г циклогексилтрихлорсилана получено 4,5 г (выход 86,5%) циклогексилтриэтилсилана. Т. кип. 226—227° при 763 мм.

Найдено %: C 72,66; 72,55; H 12,72; 12,79
 $C_{12}H_{26}Si$. Вычислено %: C 72,65; H 13,21

Циклогексилтрипропилсилан. Из 9 г лития, 80 г бромистого пропила и 30 г циклогексилтрихлорсилана получено 9,4 г (выход 47%) циклогексилтрипропилсилана. Т. кип. 128—130° при 5 мм.

Найдено %: C 75,05; 74,94; H 13,27; 13,29
 $C_{15}H_{32}Si$. Вычислено %: C 74,91; H 13,41

Циклогексилтрибутилсилан. Из 10 г лития, 82 г бромистого бутила и 35 г циклогексилтрибромсилана получено 20,8 г (выход 44%) циклогексилтрибутилсилана. Т. кип. 142—144° при 2 мм.

Найдено %: С 76,75; 76,59; Н 13,59; 13,58
C₁₈H₃₈Si. Вычислено %: С 76,51; Н 13,55

Метилциклопентилтриметилсилан. Из 6,3 г лития, 6 г иодистого метила и 10 г метилциклопентилтрихлорсилана получено 1,1 г (выход 78%) метилциклопентилтриметилсилана с т. кип. 163—165° при 745 мм.

Найдено %: С 69,37; 69,26; Н 12,50; 12,61
C₉H₂₀Si. Вычислено %: С 69,15; Н 12,89

Метилциклопентилтрибутилсилан. Из 10 г лития, 82 г бромистого бутила и 31 г метилциклопентилтрибромсилана получено 7,2 г (выход 68%) метилциклопентилтрибромсилана. Т. кип. 136—140° при 2 мм.

Найдено %: С 76,58; 76,60; Н 13,46; 13,52
C₁₈H₃₈Si. Вычислено %: С 76,51; Н 13,55

Циклогексилтрифенилсилан. 10 г циклогексена и 32 г трифенилсилана нагревали при 160—170° в запаянной ампуле в течение 2 час. в присутствии 0,2 г платинированного угля. Получено 8,7 г (выход 20,8%) циклогексилтрифенилсилана. Т. кип. 230° при 3 мм, т. пл. 232°.

Найдено %: С 84,94; 84,84; Н 7,61; 7,42; Si 7,57; 7,84
C₂₄H₂₆Si. Вычислено %: С 84,21; Н 7,60; Si 8,19

Поступило
18 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. В. Топчиев, Н. С. Наметкин, О. П. Соловова, ДАН, 86, № 5, 65 (1952). ² М. Kanazashi, М. Takakusa, Bull. Chem. Soc., Japan, 27, 441 (1954). ³ С. Burkhard, R. Kriebel, J. Am. Chem. Soc., 69, 2687 (1947). А. Barry, L. De Pree et al., J. Am. Chem. Soc., 69, 2916 (1947).

Г. А. РАЗУВАЕВ, Ю. А. СОРОКИН и Г. А. ДОМРАЧЕВ

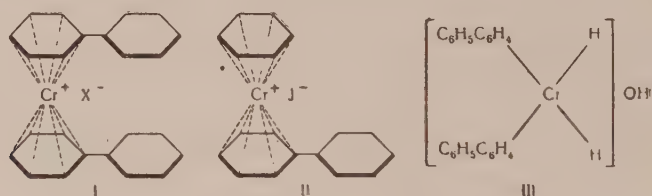
ФОТОРЕАКЦИИ ХРОМОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

(Представлено академиком И. Л. Кнунянцем 25 VI 1956)

Синтез первого хроморганического соединения был осуществлен еще в 1919 г. ⁽¹⁾. За время по 1931 г. Хейну удалось выделить и описать некоторые свойства ряда производных пентафенил- ⁽²⁾, тетрафенил- ⁽³⁾ и трифенилхрома ⁽⁴⁾. Автор полагал, что в пентафенилхромгидроксиде $(C_6H_5)_5CrOH$, тетрафенилхромйодиде $(C_6H_5)_4CrJ$ и в трифенилхромйодиде $(C_6H_5)_3CrJ$ атом металла имеет различную валентность, равную, соответственно, 6, 5 и 4. Им же была отмечена «аномальная» реакция ⁽⁵⁾ перехода пентафенилхромгидроксида, обладающего сильными щелочными свойствами, при действии различных кислот (за исключением уксусной, хлоруксусной, серной кислот и CO_2) в производные тетрафенилхрома. Таким путем было получено свыше 50 солеобразных производных. Далее оказалось, что пентафенилхромгидроксид реагирует аномально и с некоторыми солями бескислородных кислот



Выделения водорода, как этого требует приведенное уравнение, в реакции не наблюдалось.



I — $X = \overline{O} - C_6H_5$ (пентафенилхромгидроксид) ⁻ или J (тетрафенилхромйодид); II — трифенилхромйодид

Клемм и Ньюбер ⁽⁶⁾ по предложению Хейна измерили магнитную восприимчивость пента-, тетра- и трифенил-производных, причем было показано, что она имеет один и тот же порядок (1,7 магнетона Бора), что указывает на наличие одного неспаренного электрона. В связи с этим было предположено, что валентность хрома в данных соединениях одинакова и равна 5, однако окончательного вывода сделано не было.

Вследствие трудности получения и низких выходов хроморганических соединений эти соединения в течение длительного времени не изучались. Лишь в 1955 г. Цейсс опубликовал предварительное сообщение ⁽⁷⁾, в котором были предложены структурные формулы I и II. При этом использо-

лись следующие данные: 1) исследования магнитной восприимчивости, 2) тождественность полос поглощения в ультрафиолете при 313 мμ и, наконец, 3) данные по восстановлению хроморганических соединений спиртным раствором LiAlH_4 (8). Однако результаты восстановления не имеют количественного характера, так, например, при восстановлении $(\text{C}_6\text{H}_5)_5\text{CrOH}$ получено 48% дифенила и 47% фенола; при восстановлении $(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{CrJ}$ выделен дифенил с выходом 76%.

Нам казалось интересным провести фотораспад этих полифенильных соединений хрома в растворе. Известно, что при освещении ультрафиолетовым светом $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Hg}$ (9), $(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{Sn}$ (10), $(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{Pb}$ (10) или $(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{Bi}$ (10) в растворителях образующиеся в результате фотодиссоциации фенильные радикалы, как правило, отрывают от растворителя водород, давая бензол; лишь в случае трифенилвисмута получено незначительное количество дифенила. Если (как считал Хейн) исследуемые соединения содержат фенильные группы, непосредственно связанные с атомом хрома, можно было ожидать в продуктах фотолиза бензол и лишь следы дифенила, т. е. имела бы место аналогичная картина.

Исходные хроморганические соединения были синтезированы по методике Хейна из фенилмагнийбромидов (полученного из 150 г бромбензола (25 г магния) и эфирной суспензии (40 г) сублимированного хлорного хрома, которая прибавлялась при -10°). После выдерживания реакционной смеси течение ночи при комнатной температуре она разлагалась серной кислотой со льдом, и в результате соответствующей обработки из нее были выделены ярко-оранжевые кристаллические $(\text{C}_6\text{H}_5)_5\text{CrOH} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,54 г) и $(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{CrJ} \cdot 2\text{CHCl}_3$ (0,38 г), по свойствам идентичные с соединениями Хейна.

При облучении ультрафиолетовым светом (лампа ПРК-2) в пробирке из кварца 0,4 г пентафенилхромгидроксида в 30 мл хлороформа (6 час.) окраска раствора изменилась от интенсивно оранжевой до светло-зеленой, выпал зеленый, растворимый в воде осадок, содержащий хром и хлор. После медленной отгонки растворителя остаток был обработан метанольным раствором КОН и перегнан с паром; в отгонке найдено 0,186 г дифенила (9,3%, считая на 2 моля от исходного вещества; см. структуру I), т. пл. 70° . Остаток после перегонки, подкисленный серной кислотой, снова перегонялся с паром, и отгон бромировался бромид-броматным способом; выделено 0,158 г трибромфенола (62,8% от теории), т. пл. 95° (из бензола) без депрессии смешанной пробы. Бензола в ходе разбора не обнаружено.

В продуктах фотореакции пентафенилхромгидроксида в метиловом спирте тоже найдены дифенил и фенол.

Облучение раствора 0,3 г $(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{CrJ} \cdot 2\text{CHCl}_3$ в 20 мл хлороформа продолжилось в течение 30 час. Окраска при этом изменилась от оранжево-желтой до розово-фиолетовой (иод в хлороформе), причем также выпал зеленый осадок. Растворитель отгонялся; бензола в отгоне не найдено. Перегонкой остатка с паром выделен дифенил; выход количественный, т. пл. 70° .

Полученные количественные данные указывают, что в тетрафенилхромгидриде четыре фенильные группы не связаны непосредственно с атомом металла, а находятся в виде двух дифенильных группировок. Строение пентафенилхромгидроксида, по-видимому, аналогично тетрафенилхромгидриду, с той лишь разницей, что пятая фенильная группа входит в состав молекулы в виде фенолят-аниона. Это хорошо согласуется с качественными данными Цейсса и Цуци (3) и объясняет «аномальное» солеобразование пентафенилхромгидроксида, который следует рассматривать как фенолят тетрафенилхрома. Сильные щелочные свойства последнего обусловлены наличием фенолят-аниона, являющегося, как известно, сильным основанием.

Для производных тетрафенилхрома можно было бы предположить строение, выведенное из структуры III, однако она не объясняет устойчивости производных по отношению к воде и щелочных свойств выделенного Хейном

тетрафенилхромгидроксида (¹¹). Поэтому структура III должна быть отбрана, и мы считаем, что лишь структура I наиболее полно соответствует имеющимся экспериментальным данным.

Научно-исследовательский институт химии
при Горьковском государственном университете
им. Н. И. Лобачевского

Поступило
24 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ F. Hein, Ber., 52, 195 (1919). ² F. Hein, Ber., 54, 1919 (1921). ³ F. Hein, Ber., 54, 2708 (1921). ⁴ F. Hein, Ber., 54, 2727 (1921). ⁵ F. Hein, O. Schwartzkopff et al., Ber., 61, 730 (1928). ⁶ W. Klemm, A. Neube Zs. anorg. allg. Chem., 227, 261 (1936). ⁷ H. H. Zeiss, Yale Scient. Mag., 29, 14 (1955). ⁸ F. A. Cotton, Chem. Rev., 55, 567 (1955). ⁹ Г. А. Разуваев, Ю. А. Олдекоп, ДАН, 64, 77 (1949). ¹⁰ Г. А. Разуваев, В. В. Фетюков, М. А. Шубенко, Уч. зап. Горьковск. гос. унив., 15, 91 (1949). ¹¹ F. Hein, Ber., 57, 8 (1924).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

сен-корреспондент АН СССР Б. В. ДЕРЯГИН, С. К. ЖЕРЕБКОВ и А. М. МЕДВЕДЕВА

О МЕХАНИЗМЕ АДГЕЗИИ И АВТОГЕЗИИ КАУЧУКОВ

Наиболее характерной особенностью явлений самослипания каучуков и других полимеров является рост сил прилипания со временем контакта. Для объяснения этой кинетики были привлечены два механизма.

1. Макроскопический механизм увеличения суммарной площади истинного контакта за счет релаксации и пластичного течения в зоне контактных напряжений ⁽²⁾.

2. Микроскопический (молекулярный) механизм диффузионного перетекания цепей соприкасающихся полимеров, ведущего к увеличению сцепления на соответствующих участках до значения, отвечающего когезии, вследствие исчезновения физической границы раздела ⁽¹⁾.

Представления о диффузионном механизме самослипания каучуков были впервые высказаны в работе Марка и Йозефовича ⁽¹⁾ и впоследствии развиты в работах Дерягина и Кротовой ⁽²⁾ и Воюцкого с сотр. ⁽³⁾.

Так как релаксационные явления также возрастают с подвижностью цепей и их сегментов, то для обоих механизмов скорости обусловленных процессов возрастания сцепления обоих тел должны сходным образом зависеть в зависимости от температуры и рода полимера. Поэтому проведенные до сего времени исследования автогезии не позволяют однозначно установить удельное значение обоих механизмов — молекулярно-цепного, релаксационно-механического. В настоящей работе делается попытка прояснить относительное значение этих механизмов.

Идея состоит в том, чтобы исследовать тем или иным методом прилипание не только одинаковых полимеров (каучуков), но и их различных комбинаций (пар), сопоставляя полученные значения прилипания с показателями совместимости каучуков*. Параллелизм со степенью совместимости должен указывать на действие молекулярного, диффузионного механизма автогезии и адгезии полимеров. Наоборот, при релаксационном механизме прилипание не должно корректировать с наличием совместимости.

Экспериментальная часть

Чтобы избежать влияния на величину адгезии сил электростатического характера, которые, как известно, обычно превалируют над молекулярными явлениями при расслаивании, мы характеризовали адгезию величиной силы (в кГ/см^2), необходимой для сдвига одной части образца относительно другой.

Образцы представляли собой тканевые полоски размером 5×10 см. Ширина шва, на который наносился раствор полимера, составляла 1 см. Количество сухого вещества, нанесенного на 1 см^2 площади образца, равнялось $0,03 \text{ г/см}^2$, причем один полимер наносился на одну полоску, а другой полимер на другую. После полного удаления растворителя полоски

* Эта идея высказана нами в докладе на совещании по адгезии в Институте физической химии АН СССР в мае 1955 г. Еще ранее связь совместимости с адгезией была предложена С. С. Воюцким ⁽¹⁴⁾.

дублировались и помещались под груз 40 Г/см^2 на 5 мин., после чего производилось испытание образцов. Каждое испытание проводилось не менее чем на пяти образцах и бралось среднее значение.

В качестве объектов исследования нами были выбраны: натуральный каучук, СКС-30, СКН-26, СКБ, бутилкаучук и наирит.

О совместимости полимеров мы судили по литературным данным (10-13), основанным в большинстве случаев на изучении механических свойств, кроме того, мы определяли совместимость полимеров, пользуясь следующей методикой. Растворы различных полимеров, приготовленные в одном том же растворителе, сливались вместе. Смеси растворов тщательно перемешивались, и, если смесь растворов по истечении определенного периода времени расслаивалась, считалось, что полимеры не совмещаются. В качестве наиболее простого и четкого показателя совместимости принималось, наконец, сходство полярностей обоих образцов.

Таблица 1

	Сопротивление сдвигу в кг/см^2					
	натуральный каучук	наирит	СКС-30	СКН-26	СКБ	Бутилкаучук
Натуральный каучук	3,20	$1,60 \begin{pmatrix} + \\ \ominus \end{pmatrix}$	$1,32 \begin{pmatrix} + \\ \oplus \end{pmatrix}$	$0,10 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$1,14 \begin{pmatrix} + \\ \oplus \end{pmatrix}$	$1,44 \begin{pmatrix} - \\ \oplus \end{pmatrix}$
Наирит	$1,60 \begin{pmatrix} + \\ \ominus \end{pmatrix}$	2,0	$0,58 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$1,00 \begin{pmatrix} - \\ \oplus \end{pmatrix}$	$0,30 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$1,08 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$
СКС-30	$1,32 \begin{pmatrix} + \\ \oplus \end{pmatrix}$	$0,58 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	1,04	$0,03 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$0,60 \begin{pmatrix} + \\ \oplus \end{pmatrix}$	$0,80 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$
СКН-26	$0,10 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$1,00 \begin{pmatrix} - \\ \oplus \end{pmatrix}$	$0,30 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	0,48	$0,28 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$0,62 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$
СКБ	$1,14 \begin{pmatrix} + \\ \oplus \end{pmatrix}$	$0,30 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$0,60 \begin{pmatrix} + \\ \oplus \end{pmatrix}$	$0,28 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	0,54	$0,58 \begin{pmatrix} - \\ \oplus \end{pmatrix}$
Бутил-каучук	$1,44 \begin{pmatrix} - \\ \oplus \end{pmatrix}$	$1,08 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$0,80 \begin{pmatrix} - \\ \oplus \end{pmatrix}$	$0,62 \begin{pmatrix} - \\ \ominus \end{pmatrix}$	$0,58 \begin{pmatrix} - \\ \oplus \end{pmatrix}$	0,36

В табл. 1, в которой приведены результаты испытаний, наличие совместимости отмечается знаком $+$, несовместимости $-$, причем верхний знак соответствует нашему определению совместимости в растворах, нижний же (при наличии двух знаков) — литературным указанием. Помимо этого, сходство полярностей обоих каучуков обозначается знаком \oplus , различие полярностей — знаком \ominus .

Обсуждение результатов

Измеряемое сопротивление сдвигу, являющееся выбранной нами мерой адгезии, можно представить в виде произведения

$$T_{12} = S_{12} \tau_{12},$$

где S_{12} — площадь истинного или молекулярного контакта полимеров 1 и 2, а τ_{12} — их истинное удельное сопротивление сдвигу. Мы видим, что T_{12} зависит как от механических свойств контактирующих образцов, так и от их специфического взаимодействия. В результате этого в общем случае должна получаться сложная картина.

Более простая и характерная картина может, однако, получиться при этании таких полимеров, для которых один из сомножителей в (1) будет яться мало по сравнению с другими. Допустим сначала, что сильнее варьирует S_{12} . Так как S_{12} удовлетворяет условиям

$$S_{11} \leq S_{12} \leq S_{22},$$

S_{11} и S_{22} —, соответственно, площади истинного контакта между тождественными образцами (причем образец 2 предполагается более мягким, чем образец 1), то T_{12} в (1) будет иметь значение, не выходящее заметно за пределы интервала $T_1 \div T_2$. При этом, если предположить контакт упругим подчиняющимся формуле Герца и модули упругости обоих образцов не слишком сильно разнящимися по порядку, то S_{12} , а следовательно, и T_{12} будут близки к средним арифметическим соответствующих величин S_{11} , T_{11} , S_{22} , T_{22} . Если же предполагать, что модули упругости сильно разнятся или что контакт определяется пластической деформацией, то S_{12} , следовательно, и T_{12} будут близки к значениям, соответствующим контакту более мягкого образца с себе подобным, т. е.

$$S_{12} \approx S_{11}, \quad T_{12} \approx T_{22}.$$

В любом случае, независимо от механических свойств обоих образцов, T_{12} никогда не могут выходить из пределов интервалов соответствующих значений $S_{11} \div S_{22}$ и $T_{11} \div T_{22}$.

Иначе обстоит дело, если для рассматриваемых комбинаций контактирующих образцов τ_{12} варьирует значительно сильнее, чем S_{12} . Здесь следует различать два возможных случая. Если основное значение для величины имеет диффузия и переплетение цепей обоих полимеров, тем легче осуществимые, чем ближе природа обоих полимеров друг к другу, то очевидно, τ_{12} будет изменяться параллельно с совместимостью обоих полимеров, а в отсутствии совместимости может быть не только $\tau_{12} \ll \tau_{22}$, но и $\tau_{12} < \tau_{11} < \tau_{22}$. При этом должен наблюдаться параллелизм между совместимостью образцов и значением отношения τ_{12}/τ_{11} , как например, в случае натурального каучука и СКН-26 (см. табл. 1). Если же основное влияние на τ_{12} вызывает взаимодействие зарядов двойного электрического слоя на границе образцов, то значения τ_{12} могут не только превосходить τ_{11} , но и восходить $\tau_{22} > \tau_{11}$, параллелизм же значений отношения τ_{12}/τ_{11} и совместимости должен отсутствовать (СКБ + бутил-каучук).

В табл. 1 легко заметить, что для случая адгезии бутил-каучука к другим полимерам T_{12} всегда больше, чем T_{11} , а иногда и чем T_{22} . Это указывает на отсутствие заметного влияния диффузионных процессов и говорит о возможном влиянии как площади контакта, так и двойного электрического слоя.

Если исключить из табл. 1 рассмотренный случай СКБ и бутил-каучука, сочетание всех остальных каучуков обнаруживает ясный параллелизм с совместимостью полимеров 1 и 2.

При заведомой несовместимости всегда $T_{12} < T_{11}$ и наоборот, что указывает на роль диффузионного механизма. Этот вывод подкрепляется особенно убедительно наличием корреляции между величинами отношения T_{12}/T_{11} и совместимостью соответствующих каучуков, видно из табл. 2. Наиболее четкий параллелизм, без каких-либо исключений, отношение T_{12}/T_{11} обнаруживает с показателем совместимости, овананным на принципе сходства полярностей у обоих каучуков (последний столбец таблицы). Когда полярность обоих каучуков совпадает, $T_{12}/T_{11} > 1$; когда полярность не совпадает, $T_{12}/T_{11} < 1$.

Другие показатели совместимости не всегда соответствуют отношению T_{12}/T_{11} . Однако подобные выпадения из общей корреляции (строчки 1, 2) всегда сопровождаются противоречием соответствующих показателей совместимости образцов, что указывает на их сомнительность.

Род каучуков	T_{11}	T_{22}	T_{12}	$\frac{T_{12}}{T_{11}}$	Совместимость каучуков		
					в растворе по нашим определениям	по лит. источникам	по признаку сходства полярностей
1. Наирит + НК	2,00	3,20	1,60	0,80	+	+, —	—
2. СКС-30 + НК	1,04	3,20	1,32	1,27	+	+, —	+
3. СКН-26 + НК	0,48	3,20	0,10	0,20	—	—	—
4. СКБ + НК	0,54	3,20	1,14	2,11	+	+	+
5. СКС-30 + наирит	1,04	2,00	0,58	0,55	—	—	—
6. СКН-26 + наирит	0,48	2,00	1,00	2,08	—	—	+
7. СКБ + наирит	0,54	2,00	0,30	0,55	—	—	—
8. СКН-26 + СКС-30	0,48	1,04	0,30	0,62	—	—	—
9. СКБ + СКС-30	0,54	1,04	0,60	1,11	+	+, —	+
10. СКН-26 + СКБ	0,48	0,54	0,28	0,58	—	—	—
11. Бутил-каучук + НК	0,36	3,20	1,44	4,00	—	—	+
12. Бутил-каучук + наирит	0,36	2,00	1,08	3,00	—	—	—
13. Бутил-каучук + СКС-30	0,36	1,04	0,80	2,22	—	—	+
14. Бутил-каучук + СКН-26	0,36	0,48	0,62	1,72	—	—	—
15. Бутил-каучук + СКБ	0,36	0,54	0,58	1,61	—	—	+

Таким образом, поверхностная совместимость каучуков, характеризующая их адгезионным сопротивлением сдвигу, определяется надежнее всего по признаку сходства их полярностей. Однако бутил-каучук выпадает из этого правила. В случае бутил-каучука и СКН-26 даже величина T_{12}/T_{11} существенно больше единицы, что можно объяснить специфической адгезией за счет двойного электрического слоя* или вандерваальсовых сил. В остальных случаях для бутил-каучука $T_{22} > T_{12} > T_{11}$, что можно объяснить влиянием механических свойств на истинную площадь контакта (см. выше).

Научно-исследовательский
институт резиновой промышленности и
Институт физической химии Академии Наук СССР

Поступило
25 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. Josefowitz, H. Mark, Ind. Rub. World, 106, 33 (1942). ² Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия, Изд. АН СССР, 1949, стр. 242. ³ С. С. Воюцкий, Ю. Л. Марголина, Усп. хим., 18, 449 (1949). ⁴ Б. В. Дерягин, А. Д. Малкина, Колл. журн., 12, 431 (1950). ⁵ Н. И. Москвитин, М. Ф. Фурман, Б. В. Дерягин, ДАН, 105, 758 (1955). ⁶ Б. В. Дерягин и др. Труды II Всесоюз. конф. по трению и износу в машинах, 1, Изд. АН СССР, 1947, стр. 96 и 147. ⁷ Б. В. Дерягин, ДАН, 39, 11 (1948). ⁸ Б. В. Дерягин, ЖФХ, 6, 1306 (1935); Koll. Zs., 69, 195 (1934). ⁹ С. С. Воюцкий, А. И. Шаповалова, А. П. Писаренко, ДАН, 105, 1000 (1955). ¹⁰ Institute of the Rubber Industry Trans., 13, 136 (1937). ¹¹ Ind. Rub. World, 102, 33 (1937). ¹² Н. Ф. Комская, Диссертация. Физико-механические свойства резин, полученных на основе комбинации различных каучуков. М. ¹³ И. В. Бородин, А. К. Никитин, Технические свойства советских синтетических каучуков, 1952. ¹⁴ С. С. Воюцкий, Б. Е. Старх, Процессы образования пленок из дисперсий высокополимеров, М., 1954.

* Влияние двойного слоя на T_{12} , в согласии с двухчленным законом трения, должно существовать, хотя это влияние значительно меньше, чем на работу отслаивания.

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Л. И. ИВАНОВ и М. П. МАТВЕЕВА

**ОБ ИЗМЕНЕНИИ ПАРЦИАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ЖЕЛЕЗА В СПЛАВАХ
СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО — ХРОМ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ**

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 30 VI 1956)

Разработанный в Институте металлургии Академии наук СССР метод измерения упругости пара и диффузионных констант с использованием принципа изотопного обмена через паровую фазу ⁽¹⁾ был успешно применен для определения скоростей испарения железа в сплавах системы железо — хром при повышенных температурах в твердом состоянии.

Для исследования применялись сплавы железа с хромом, содержащие радиоактивный изотоп железа Fe^{59} , введенный в сплав металлургическим путем. В качестве исходных материалов применялись электролитическое железо, предварительно переплавленное в вакууме, и электролитический хром. Образцы готовились путем отливки в цилиндрический медный кокиль; из отливок вырезались диски толщиной 1 мм, которые затем отжигались в вакууме. Опыты проводились на специально разработанной установке, схема которой приведена на рис. 1.

В течение опыта образцы подвергались нагреву и выдержке при заданных температурах. Атомы радиоактивного железа в процессе изотопного обмена переходят на мишень, приготовленную из сплава такого же состава, что и исследуемый образец, но не содержащую радиоактивного изотопа.

Количество перешедшего на мишень железа находилось через определенные равные промежутки времени путем измерения радиоактивности мишени. Результаты измерения использовались для построения кинетических кривых при температурах опыта 1150; 1200; 1250°. Кинетические кривые строятся в координатах продолжительность опыта — количество перешедшего на мишень металла. На основании кинетических кривых производился расчет скорости испарения, упругости пара и теплоты образования.

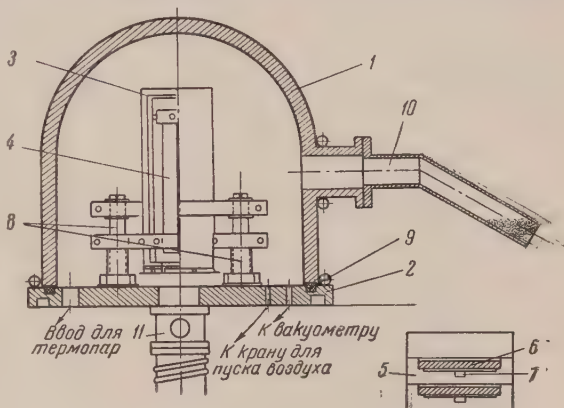


Рис. 1. Схема вакуумной установки для опытов с использованием метода изотопного обмена: 1 — медный вакуумный колпак; 2 — медная плита; 3 — молибденовый нагреватель; 4 — кассета со вставленными в нее керамическими чашечками с образцами (отдельно показано взаимное расположение образцов и мишеней в чашечках); 5 — керамическая чашечка; 6 — мишень; 7 — образец, содержащий радиоактивный изотоп; 8 — токоподводящие медные охлаждаемые электроды; 9 — резиновое уплотнение; 10 — сосуд для помещения активированного угля (снаружи сосуд охлаждается жидким азотом); 11 — диффузионный вакуумный насос

На рис. 2 показано изменение теплоты сублимации железа в сплавах системы железо — хром в интервале температур 1100—1300° в зависимости от концентрации компонентов. Из рисунка видно, что теплота сублимации железа снижается в области γ -твердого раствора хрома в железе до границы области существования γ -твердого раствора и затем резко возрастает в области α -твердого раствора, достигая максимума (около 156 ккал/г-ат) при концентрации хрома в сплаве около 50%. Дальнейшее увеличение концентрации хрома приводит к резкому падению значения теплоты сублимации железа в сплавах.

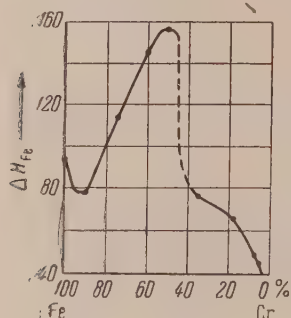


Рис. 2. Изменение теплоты сублимации железа в сплавах железа с хромом в интервале температур 1100—1300° в зависимости от состава сплавов

На основании экспериментальных данных, полученных методом изотопного обмена, для определения упругости пара железа в сплавах с хромом были вычислены термодинамические активности железа в этих сплавах.

На рис. 3 приведены для различных температур кривые изменения термодинамической активности железа в зависимости от его концентрации в сплаве. Кривые показывают наличие минимума в отклонении значений термодинамической активности железа реальных сплавов от идеальных, отвечающего содержанию железа в сплаве ~60%. Наличие минимума указывает на то, что в реальных сплавах в этой области взаимодействие между одноименными атомами слабее, чем взаимодействие между разноименными атомами.

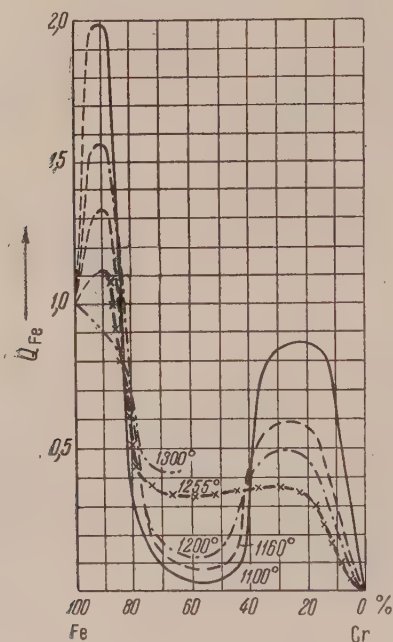


Рис. 3

Рис. 3. Изменение термодинамической активности железа при разных температурах в зависимости от состава сплава. Пунктиром показан предполагаемый ход

Рис. 4. 1 — изменение стрелы изгиба сплавов железа с хромом при температуре 1080° $\sigma = 0,2$ кг/мм² за 150 час. Кривые 2 и 3 получены К. А. Осиповым для этих же сплавов при температуре испытания 1100° и напряжениях: 2 — около 8 кг/мм², 3 — около 10 кг/мм²

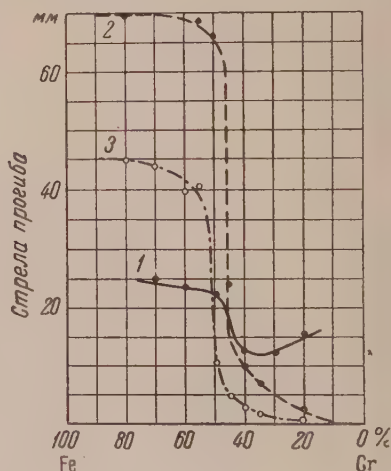


Рис. 4

ными атомами. По-видимому, это обстоятельство связано с образованием σ -фазы при понижении температуры.

Как видно из рис. 3, переход из области γ - в область α -твердого раствора сопровождается резким положительным отклонением значений термодинамической активности железа в сплавах.

ической активности железа от идеальных сплавов. Это указывает на то, что связь между разноименными атомами в данной области слабее, чем связь между одноименными атомами, причем с понижением температуры связь усиливается.

При больших содержаниях хрома* в системе (60—80%) характер взаимодействия между атомами хрома и железа качественно изменяется; об этом свидетельствует значительное положительное отклонение значений термодинамической активности железа в изучаемых сплавах от идеальных сплавов.

Интересно отметить, что сплавы этой системы, испытанные методом центробежного изгиба на жаропрочность, показали наибольшую жаропрочность в области концентрации ~60% Cr, что отвечает такому состоянию системы, когда силы взаимодействия между разнородными и однородными атомами примерно одинаковы. На рис. 4 (кривая 1) показано изменение стрелы изгиба сплавов системы железо — хром, испытанных методом центробежного изгиба при 1080° и напряжении 0,2 кГ/мм² в течение 150 час. На этом же рисунке приведены кривые, полученные К. А. Осиповым⁽²⁾ при кратковременном испытании этих же сплавов на жаропрочность методом центробежного изгиба при температуре 1100°, но при более высоком напряжении на изгиб.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР

Поступило
22 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. И. Иванов, И. С. Куликов, М. П. Матвеева, Изв. АН СССР, ОТН, № 8, 145 (1955). ² К. А. Осипов, ДАН, 61, № 1, 71 (1948).

* Ввиду повышенной окисляемости сплавов, содержащих большой процент хрома (больше 70% Cr), настоящие данные нуждаются в дополнительной проверке.

Н. П. КЕЙЕР

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ
АДСОРБИРОВАННЫМИ МОЛЕКУЛАМИ АЦЕТИЛЕНА
НА ЗАКИСИ НИКЕЛЯ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДСОРБЦИИ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 29 VI 1956)

Причины отклонения закономерностей химической адсорбции от лэнгмюровских до настоящего времени не вполне ясны и широко дискутируются в литературе (¹⁻⁵). Наряду с неоднородностью активной поверхности, которая, по мнению многих исследователей, является причиной наблюдаемых отклонений, показано теоретически, что подобные отклонения могут вызываться также изменением электронного состояния твердого тела, сопровождающим химическую адсорбцию, связанную с передачей электрона от адсорбирующейся молекулы к адсорбенту или наоборот. Это явление, в отличие от «биографической» неоднородности рядом авторов названо «индуцированной» или «наведенной» неоднородностью. Электронная теория химической адсорбции, развиваемая Волькенштейном, Бонч-Бруевичем, Хауффелем, Энгелем, Вейсом (⁶⁻¹⁰) и др., характеризует влияние этих процессов на кинетические закономерности химической адсорбции, вместе с тем не позволяет оценить его количественно. Трудность разграничения влияния «биографической» и «индуцированной» неоднородностей на закономерности химической адсорбции усугубляется тем, что они приводят к сходным закономерностям, поэтому отнесение появления тех или иных закономерностей за счет «биографической» или «индуцированной» неоднородности не может быть оправдано без постановки специальных опытов. Неоднородность активной поверхности может быть количественно исследована с помощью дифференциального изотопного и других изотопных методов (¹¹). Желательно было бы оценить также и влияние «индуцированной» неоднородности, так как только при этом условии возможна полная уверенность в правильности оценки доли участия обоих факторов в отклонении закономерностей химической адсорбции от лэнгмюровских.

В настоящей работе предлагается метод оценки влияния на закономерности химической адсорбции изменения заполнения в условиях, исключающих из рассмотрения неоднородность активной поверхности. Этот метод дает возможность оценить суммарное влияние сил, ослабляющих связь адсорбированных молекул с поверхностью при изменении ее заполнения вследствие электронных процессов, а также вследствие взаимодействия отталкивания, если адсорбируются молекулы, обладающие дипольными моментами.

Для оценки роли индуцированной неоднородности используя меченые молекулы, измеряются кинетические изотермы десорбции меченого газа*, покрывающего определенную часть поверхности, при нескольких температурах, затем эти же измерения повторяются при других суммарных заполнениях поверхности, достигаемых адсорбцией дополнительно к порции меченого газа, порций того же газа, отличающихся изотопным составом.

* Под кинетическими изотермами десорбции подразумевается кинетика десорбции, измеренная при постоянной температуре (этот термин введен С. З. Рогинским (¹)).

Десорбирующееся за определенное время количество меченого газа во всех опытах измеряется по радиоактивности, если применяется газ, меченный радиоактивным изотопом, или в масс-спектрометре, если используется стабильный изотоп. Это позволяет определять скорость десорбции первой адсорбированной порции меченого газа независимо от скорости десорбции второй. Варьируя заполнение поверхности меченым газом, можно определить влияние индуцированной неоднородности на участках различной активности, если поверхность неоднородна. Рост скорости десорбции и снижение энергии активации вследствие увеличения суммарного заполнения поверхности при постоянном заполнении ее меченым газом связан исключительно с влиянием «индуцированной» неоднородности.

Следует заметить, что исследование может привести к неправильным выводам, если активная поверхность неоднородна и имеет место нераспределение молекул между первой и второй адсорбированными порциями газа. Условия проведения исследования должны выбираться таким образом, чтобы во время адсорбции второй порции газа обмен его с газом первой адсорбированной порции отсутствовал или был сведен до минимума.

Описанный выше метод был применен для исследования влияния «индуцированной» неоднородности на химическую адсорбцию ацетилена на поверхности окиси никеля. Адсорбция ацетилена на свежеприготовленной окиси никеля (рис. 1) протекает по закону

$$q = At^{1/n}, \quad (1)$$

где $1/n$ меняется линейно с температурой.

Подобная зависимость могла быть вызвана либо «биографической», широкой неоднородностью активной поверхности (1), либо действием «индуцированной» неоднородности, порождаемой электронными процессами, сопровождающими хемосорбцию. Не исключено, что могло иметь место и одновременное влияние «биографической» и «индуцированной» неоднородностей в сравнимых размерах. На рис. 2 представлено изменение десятичного логарифма сопротивления таблетки окиси никеля с течением времени, отсчитываемого от начала адсорбции ацетилена. По мере адсорбции ацетилена сопротивление растет, а электропроводность падает. Из этих измерений следует, что адсорбция

ацетилена сопровождается уменьшением концентрации носителей тока, которыми в окиси никеля являются катионы Ni^{+3} . Измерение электропроводности во время химической адсорбции показало, что данная система аналогична рассматриваемым электронной теорией химической адсорбции.

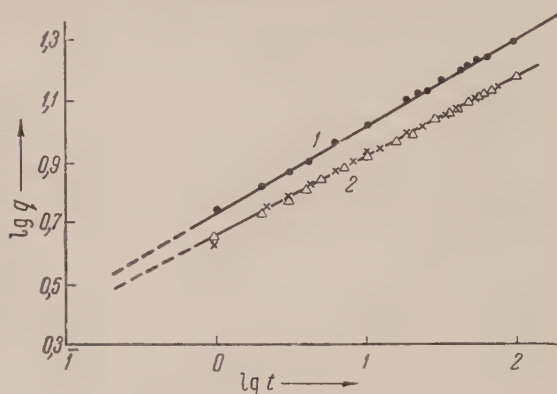


Рис. 1. Кинетические изотермы адсорбции ацетилена на свежеприготовленной окиси никеля. 1 — $T = 0^\circ$, $P_0 = 4,65$ мм рт. ст. и $P_0 = 4,46$ мм рт. ст.; 2 — $T = 18^\circ$, $P_0 = 4,3$ мм рт. ст.

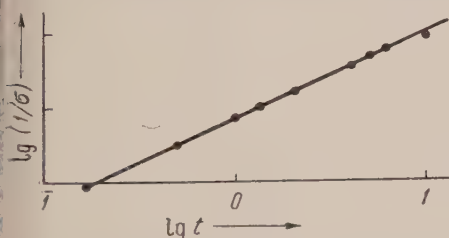


Рис. 2. Изменение десятичного логарифма удельного сопротивления (обратной электропроводности) таблетки окиси никеля в зависимости от логарифма времени, отсчитываемого от начала адсорбции

Следовательно, можно было ожидать, что в этом случае удастся обнаружить влияние на закономерности химической адсорбции «индуцированной» неоднородности. Предварительно были поставлены опыты, целью которых являлась качественная оценка этого влияния.

На закиси никеля адсорбировалась порция меченого C^{14} ацетилена составляющая 11—13% от монослоя. Затем реактор откачивался 10 мин до давления 10^{-4} мм рт. ст. для удаления неадсорбировавшегося газа. При этом десорбировалось около 0,3% меченого ацетилена. По окончании откачки измерялось изменение скорости десорбции с течением времени. Скорость десорбции, как видно из рис. 3, снижается сначала быстро, затем медленно. За $2\frac{1}{2}$ часа скорость десорбции снизилась более чем в 10 раз, а сумма десорбированного меченого ацетилена составляла только около 0,6% от адсорбированного.

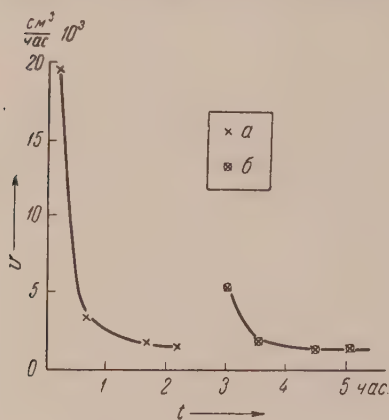


Рис. 3

Рис. 3. Изменение скорости десорбции адсорбированного на NiO меченого ацетилена: а — при заполнении поверхности на 12,5% от монослоя, б — после дополнительной адсорбции обычного ацетилена и увеличения суммарного заполнения вдвое

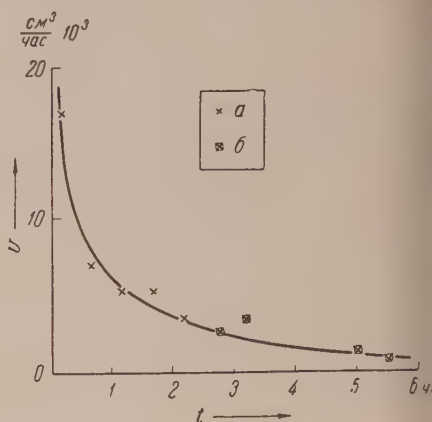


Рис. 4

Рис. 4. Изменение скорости десорбции адсорбированного меченого ацетилена: а — при начальном заполнении поверхности меченым ацетиленом на 11% от монослоя, б — после дополнительной адсорбции порции обычного ацетилена и увеличения суммарного заполнения поверхности до 22%

рованного. После $2\frac{1}{2}$ час. откачки, когда скорость десорбции уже снижалась медленно, адсорбировалась еще одна порция ацетилена, не содержащего C^{14} , близкая по величине к ранее адсорбированной порции меченого ацетилена. Суммарное заполнение поверхности теперь увеличилось в 2 раза. Измеряя скорость десорбции меченого ацетилена первой порции, можно определить влияние на адсорбцию «индуцированной» неоднородности. Если падение скорости десорбции было связано с изменением взаимодействия отталкивания вследствие уменьшения заполнения поверхности по мере десорбции, то после увеличения суммарного заполнения поверхности вдвое скорость десорбции меченого ацетилена должна возрасти до величины бо-
льшей, чем начальная. Видно, что скорость десорбции меченого ацетилена практически осталась близкой к скорости десорбции, наблюдавшейся непосредственно перед увеличением заполнения поверхности в два раза. Показанная скорость в первые 30 мин. связана с побочным явлением. Во время адсорбции второй порции ацетилена произошел частичный обмен его с меченым ацетиленом первой адсорбированной порции. Анализ не адсорбированного ацетилена второй порции показал, что в нем содержалось около 0,6% меченого ацетилена из первой порции. Суммарная скорость десорбции ацетилена после увеличения заполнения поверхности вдвое значительно превосходит скорость десорбции ацетилена из первой порции, особенно в начальный момент, этим и объясняется повышенное содержание меченого

ацетилен в первые полчаса. В следующие $1\frac{1}{2}$ часа суммарная скорость десорбции меченого ацетилена из первой адсорбированной порции и обменявшегося из второй одного порядка со скоростью десорбции меченого ацетилена перед дополнительной адсорбцией. В следующем опыте для снижения степени перераспределения между первой и второй порциями газа время адсорбции второй порции было уменьшено. Этот опыт дал результаты, сходные с предыдущим (рис. 4). Скорость десорбции меченого ацетилена на поверхности меньше, чем на 0,6% от адсорбированного. Увеличение суммарного заполнения поверхности в 2 раза не вызывает заметного изменения скорости десорбции меченого ацетилена. Эти опыты однозначно свидетельствуют, что наблюдаемое значительное изменение скорости десорбции по мере уменьшения заполнения поверхности не связано с влиянием «индуцированной» неоднородности. Согласно электронной теории химической адсорбции влияние электронных факторов на скорость адсорбции и десорбции должно быть противоположно по направлению, по одного порядка по величине.

Таким образом, закономерности адсорбции и десорбции ацетилена не могут быть объяснены влиянием электронных процессов, сопровождающих химическую адсорбцию, так как их влияние невелико. Для количественной оценки этих эффектов требуются опыты, в которых более точно учитывалось бы влияние побочного процесса обмена.

Как показано в ⁽¹²⁾, эти закономерности связаны с широкой неоднородностью активной поверхности, с экспоненциальным типом функции распределения, который обнаруживается по измерениям кинетической изотермы обмена адсорбированного ацетилена с ацетиленом из газовой фазы.

Поступило
29 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. З. Рогинский, Адсорбция и катализ на неоднородных поверхностях, Изд. АН СССР, 1948. ² В. Л. Бонч-Бруевич, Ф. Ф. Волькенштейн, Проблемы кинетики и катализа, в. 8, 218 (1955). ³ Такао Кван, Advances in Catalysis, **6**, 67 (1954). ⁴ М. Boudart, J. Am. Chem. Soc., **74**, 1531 (1952); Angew Chem., **65**, 35 (1953). ⁵ Г. К. Боресков, Гетерогенный катализ в хим. пром., М., 1955. ⁶ Ф. Ф. Волькенштейн, ЖФХ, **26**, 1462 (1952); Проблемы кинетики и катализа, в. 7 (1949); ЖФХ, **27**, 159, 167 (1953); ЖФХ, **24**, 1068 (1950); **26**, 422 (1954). ⁷ В. Л. Бонч-Бруевич, ЖФХ, **27**, 960 (1953); **26**, 1462 (1952). ⁸ К. Hauiffe, H. J. Engel, Zs. Electrochem., **57**, 762 (1953); **56**, 366 (1952). ⁹ Н. J. Engel, Halbleiterprobleme, 1954, S. 249. ¹⁰ Р. В. Weisz, J. Chem. Phys., **20**, 1531 (1953). ¹¹ С. З. Рогинский, Теоретические основы изотопных методов изучения катализаторов, Изд. АН СССР, 1956, стр. 525. ¹² Н. П. Кейер, Тез. докл. на Всесоюзн. совещ. по применению изотопов в катализе. Изд. АН СССР, 1956, стр. 61.

Академик П. А. РЕБИНДЕР, В. И. ЛИХТМАН и Л. А. КОЧАНОВА

АДСОРБЦИОННОЕ ПОНИЖЕНИЕ ПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОНОКРИСТАЛЛОВ И САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ В ЖИДКОЙ СРЕДЕ

Работами нашей лаборатории уже давно установлено (¹⁻³), что сопротивление твердых тел деформированию и разрушению понижается вследствие адсорбции из окружающей среды. Это явление связано с понижением поверхностной энергии деформируемого твердого тела.

Эффекты адсорбционного понижения прочности и облегчения деформаций носят кинетический характер и вызваны облегчением возникновения и развития поверхностных микро- и ультрамикрощелей и трещин (^{2,3}), различных дефектов структуры и дислокаций, а также зародышей сдвигов в результате понижения поверхностного натяжения твердого тела на его поверхностях, развивающихся в процессе деформации на границе с окружающей средой*.

При этом за время развития поверхностного дефекта—ультрамикротрещины поверхностная энергия на значительной части вновь образующейся поверхности в процессе деформирования должна успевать понизиться вследствие проникновения среды в виде адсорбционного слоя, например путем двухмерной миграции, с образованием пониженного межфазного натяжения.

Таким образом наибольшие адсорбционные влияния внешней среды, как мы показали (^{2,3}) наблюдаются при длительном воздействии благоприятных напряженных состояний в поверхностных слоях деформируемого тела — в условиях ползучести, длительной или усталостной прочности. Среднее расстояние между дефектами в твердых телах — размер ультрамикроблочков, связанных слабыми силами сцепления, соответствует среднему размеру коллоидных частиц ($\delta_m \approx 10^{-6}$ см), обнаруживающих интенсивное броуновское движение при отщеплении в окружающую среду.

Работа A_m и вероятность образования W зародышей сдвигов и трещин разрушения (⁶) на основе слабых мест в поверхностных слоях твердого тела, по аналогии с образованием новой фазы, определяются величиной межфазного натяжения σ_{12} :

$$A_m = \sigma_{12} \cdot S_m \quad S_m \approx \delta_m^2; \quad W = C \exp\left(-\frac{\sigma_{12} S_m}{kT}\right); \quad C \sim \exp \frac{\beta \cdot P v_m}{kT} \quad v_m \approx \delta_m^3.$$

* Значительно позднее наших публикаций по этому вопросу (^{1, 2}) появились сообщения Бенедикса (⁴) и Сато (⁵). В них указывалось (без упоминания первоисточника) на тот же по существу эффект понижения прочности твердых тел под действием смачивающих жидких сред. Однако при этом делался ошибочный вывод о возможности якобы определить поверхностное натяжение твердого тела σ_1 исходя из эмпирического правила Антонова (к тому же применяя его ошибочно к взаимно ненасыщенным фазам) и линейно (!) экстраполируя начальный ход падения прочности P_m с возрастанием поверхностного натяжения смачивающей жидкости σ_2 до значения $P_m = 0$, что должно соответствовать $\sigma_1 = \sigma_2$. Эта незаконная экстраполяция приводит к значениям σ_1 , например для стали, на порядок меньшим, чем надежные значения, вычисленные различными косвенными методами. При переходе к большим понижениям прочности, в жидкостях, по отношению к которым данное твердое тело более лиофильно, получились бы вогнутые кривые, приближающиеся к оси абсцисс ($P_m = 0$) при значительно более высоких σ_2 . Ясно, что когда краевой угол смачивания заведомо не образуется, работа растекания положительна и велика и правило Антонова явно неприменимо.

В этих приближенных выражениях C учитывает интенсивность и характер напряженного состояния, P — напряжение, а безразмерный множитель β включает и величину относительной деформации: для растягивающих напряжений $\beta > 0$, а для сжимающих $\beta < 0$. Для хрупких тел β не превышает 0,1—0,5 при разрыве.

Случай достаточно малых σ_{12} на границе двух жидких фаз, по представлениям Фольмера (7), соответствует спонтанному диспергированию до частиц (капелек) коллоидных размеров под действием теплового движения. При этом образуется термодинамически устойчивый коллоидный раствор — предельно дисперсная двухфазная система из двух взаимно насыщенных и находящихся в равновесии фаз. Таковы самопроизвольно образующиеся критические эмульсии, семиколлоиды типа растворов мыл. Возрастание поверхностной энергии при этом достаточно мало, чтобы компенсироваться в изотермическом процессе возрастанием энтропии системы вследствие равномерного распределения частиц в броуновском движении по всему объему среды. Этот случай соответствует достаточно высокой степени лиофильности системы — значительному молекулярному средству граничащих фаз. Для твердых тел (бенгонит в воде, железо в ртути) в подобных случаях самопроизвольное диспергирование происходит только в слабых местах (8), т. е. по ультрамикроблокам и потому приводит лишь к условно устойчивым системам с мозаичной поверхностью частиц, способных к коагуляционному структурообразованию (9).

Приближенное условие самопроизвольного диспергирования очевидно заключается в том, чтобы $\sigma_{12} < \sigma_m$, где $\sigma_m \approx \frac{kT}{\delta_m^2}$, или чтобы критерий диспергирования $Di_0 = \sigma_{12} \cdot \delta_m^2 / kT$ удовлетворял условию $Di_0 < 1$.

При высоких температурах спонтанное диспергирование может происходить даже при не очень низких $\sigma_{12} \approx 0,1$ эрг·см⁻², что соответствует более широкому распространению, чем обычно принято считать, устойчивых пирозолей и тиксотропных пирогелей, образующихся в металлических и неметаллических расплавах. Обычно с повышением T , кроме того, резко убывает и σ_{12} вследствие возрастания взаимной растворимости. Предельный случай критической точки по Менделееву $\sigma_{12} = 0$ соответствует исчезновению коллоидной фазы, т. е. безграничной взаимной растворимости с образованием истинного (однофазного) раствора.

При больших σ_{12} ($\sigma_{12} > \sigma_m$) диспергирование не может быть самопроизвольным, т. е. происходит лишь под влиянием напряженного состояния, например, в процессах измельчения. Эти случаи соответствуют образованию неустойчивых (лиофобных) дисперсных систем. Однако прочность в данной жидкой среде $(P_m)_A$ тем более понижена по сравнению с прочностью твердого тела в вакууме $(P_m)_0$, чем сильнее понижено σ_{12} при указанных выше благоприятных условиях развития новых поверхностей (дефектов). При этом критерий диспергирования: $Di(P) = (\sigma_{12} s_m - \beta P v_m) / kT$, а условие разрушения при заданных T и напряженном состоянии βP : $\sigma_{12} < \frac{kT}{\delta_m^2} + \beta P \delta_m$. При $\frac{(P_m)_0 - (P_m)_A}{(P_m)_0} = \frac{\sigma_1 - \sigma_{12}}{\sigma_1}$.

Наблюдавшиеся рядом авторов резкое снижение прочности и пластичности тугоплавких сплавов под действием малых легкоплавких примесей или жидкой металлической среды обычно объяснялось (10, 11) явлениями межкристаллитной коррозии. Только в последнее время стали связывать эти явления с понижением σ_{12} на вновь образующихся поверхностях (12) и, как в работах С. Кишкина и Я. Потака (13, 16), — с нашим адсорбционным эффектом понижения прочности. Действительно, для твердых тел гораздо более поверхностноактивными, чем классические органические вещества являются расплавленные среды, близкие по молекулярной природе к данному твер-

дому телу. Для металлов такими средами должны быть сравнительно легкоплавкие металлы и сплавы, а для ионных кристаллов или стекол — расплавленные соли и стекла, особенно с одноименными катионами. Такие среды

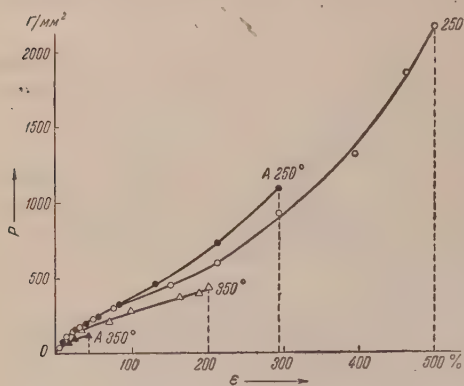


Рис. 1. Истинное напряжение $P = P_0 \left(1 + \frac{\epsilon}{100}\right)$ в зависимости от относительного удлинения ϵ в % при температурах 250° и 400° . Буквой А обозначены кривые для монокристаллов цинка, покрытых тонким слоем олова. Пунктиром отмечены истинные прочности, соответствующие началу развития шейки перед разрывом

монокристалла вызывает лишь небольшое упрочнение. При более высоких температурах (350° и особенно 400°) достигается понижение прочности — истинного предельного натяжения перед началом образования шейки — в 4—10 раз. Кроме того, меняется и самый характер разрыва: из пластического на воздухе он становится хрупким в активной среде (см. фото на рис. 2). Поэтому понижение разрывного напряжения цинка под влиянием олова при расчете на площадь разрыва еще более резко выражено, и эффект носит характер качественного изменения. Резкое влияние температуры очевидно связано с повышением растворимости цинка в жидком олове (45% при 350° и 92% при 400°), что соответствует резкому снижению межфазного натяжения. При этом, однако, тонкая пленка жидкого олова на поверхности монокристалла цинка, толщина которой в сотни раз меньше толщины проволоки, почти мгновенно насыщается цинком за счет весьма малого уменьшения толщины монокристалла, что могло бы сопровождаться лишь очень небольшим понижением прочности. Контрольные опыты растяжения монокристаллов цинка в жидком олове, предварительно насыщенном цинком при данной температуре опыта, дали совпадающие результаты.

Далее, таким же путем исследовалось влияние расплавов свинца — олово при различном содержании олова на диаграмму растяжения монокристаллов цинка. Сам по себе расплавленный свинец оказался сравнительно слабо поверхностно-активным по отношению к цинку и не вызвал снижения прочности и пластичности в этих условиях. Рис. 3 показывает, что уже сравнительно небольшие добавки поверхностно активного олова в расплав вызывают довольно резкое понижение прочности и пластичности (наибольшего удлинения ϵ_m) монокристаллов цинка. При 20% Sn этот эффект достигает предела и дальнейшее понижение возникает только при содержании Sn более 80% — при приближении к чистому олову, что, очевидно, связано с резким повышением растворимости цинка в таких расплавах.

Мы выдерживали монокристалл цинка, покрытый тонким слоем олова, при 400° без напряжения в течение времени, соответствовавшего нашим опытам, а затем помещали в жидкий свинец при той же температуре. Тогда

могут понижать σ_{12} до весьма малых значений, соответствующих самопроизвольному диспергированию или хрупкому разрыву под действием весьма слабых разрывных напряжений. При этом следует ожидать, что эти эффекты должны быть наиболее ярко выражены на монокристаллах, обладающих наивысшей пластичностью и кроме того исключая влияние границ зерен.

Полученные результаты представлены на рис. 1, на котором даны в истинных напряжениях диаграммы растяжения с постоянной скоростью $15\% \text{ мин}^{-1}$ монокристаллов цинка (99,99% Zn) диаметром 0,5 мм и длиной 10 мм (ориентация плоскости базиса $\gamma_0 = 44^\circ$) чистых и покрытых электролитически тонким слоем чистого олова толщиной 1—5 μ . Низкие температуры плавления эвтектики, действие тонкого слоя на поверхности

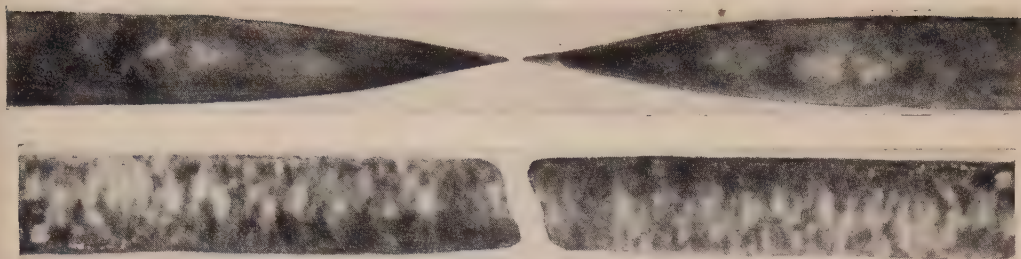
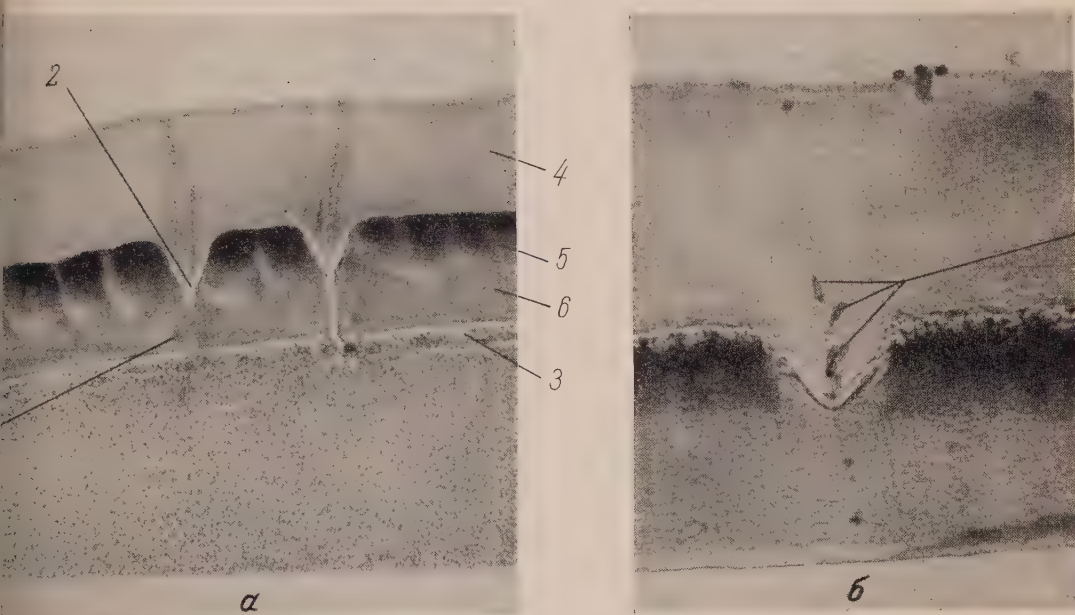


Рис. 2. Фото разорванных монокристаллов цинка: А — обычный пластический разрыв после значительного удлинения (105%) при 400°; Б — хрупкий разрыв (удлинение 9%) при той же температуре у монокристаллов, покрытых тонким слоем олова (прочность сильно понижена)



2. Оболочка яйца осетра после овуляции (а) и после оплодотворения (б). 1 — капилляр микропиле, 2 — остатки трофических путей (в б трофические пути растворились), 3 — пигментные зерна, 4 — наружная оболочка, 5 — zona radiata externa, 6 — zona radiata interna, (в б оболочки гомогенные), 7 — сперматозоиды в воронке микропиле

при достаточно длительной выдержке в расплавленном свинце, эффект полностью исчезает и нормальная прочность монокристалла восстанавливается. Эти опыты указывают на отсутствие заметной роли нормальной диффузии олова в свинец. Очевидно, прокаливание олова, а в связи с этим понижение σ_{12} происходит только из-за развивающихся поверхностными эффектами — зародышам сдвигов и разрушения.

Примеси поверхностно-активных металлов — адсорбционных модификаторов, измельчающих структуру при кристаллизации сплавов и повышающих их механические свойства при обычных температурах, могут резко понизить жаропрочность в результате внутренней адсорбции. Устранение таких примесей как из самого сплава, так и из защитных покрытий, может привести к значительному повышению жаропрочности при повышенных температурах.

Таким образом, мы видим, что развитие физико-химической механики, включающей закономерности влияния среды, поверхностно-активных добавок, температуры и напряженного состояния приводит к новым путям управления механическими свойствами твердых тел и процессами их обработки.

Приносим благодарность проф. В. Г. Левичу и проф. Г. М. Бартеневу за участие в обсуждении этой работы.

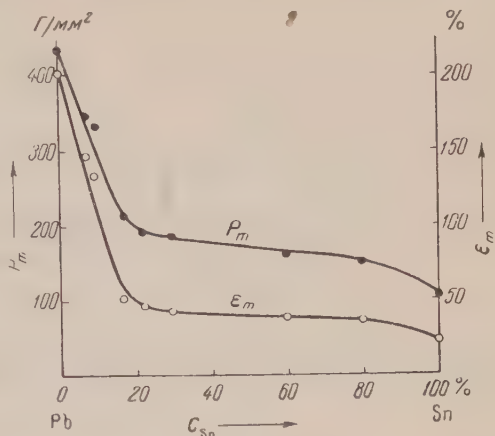


Рис. 3. Зависимость истинной прочности P_m и наибольшего удлинения ϵ_m до разрыва для монокристаллов цинка, от концентрации олова в сплаве свинца с оловом

Отдел дисперсных систем
Института физической химии
Академии наук СССР

Поступило
5 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Ребиндер, Докл. на 6 съезде русских физиков, М., 1928; P. Reh binder, Zs. f. Phys., **72**, 191 (1931); П. А. Ребиндер, ЖТФ, **2**, 7—8, 726 (1932); ЖФХ, **5**, 2—3, 332 (1934); P. Reh binder, Phys. Zs. d. Sowjetun., **4**, 2, 365 (1933); П. А. Ребиндер, Е. К. Венстрем, Изв. АН СССР, ОМОН, сер. физ., 4—5, 531 (1937).
- ² П. А. Ребиндер, Юбилейн. сборн., посвящ. 30-летию Великой Октябрьской Социалистической революции, Изд. АН СССР, **1**, 1947, стр. 123; П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман, ДАН, **56**, № 7, 723 (1947); В. И. Лихтман, Усп. физ. наук, **37**, 3 (1949).
- ³ В. И. Лихтман, П. А. Ребиндер, Г. В. Карпенко, Влияние поверхностно-активной среды на процессы деформации металлов, Изд. АН СССР, 1954.
- ⁴ C. Venedicks, C. R., **232**, 2435 (1951); **231**, 409, 482 (1951).
- ⁵ M. Sato, Proc. Japan. Acad., **30**, 193, 369 (1954).
- ⁶ Г. М. Бартенев, Изв. АН СССР, ОТН, **9**, 53 (1955).
- ⁷ M. Volmer, Zs. Phys. Chem., **125**, 151 (1927); **A 155**, 281 (1931).
- ⁸ П. А. Ребиндер, Новые проблемы физико-химической механики, Докл. на постоянн. коллоквиуме по твердым фазам переменного состава совм. с Моск. коллоидным коллоквиумом 26 I 1956, М., 1956.
- ⁹ P. Reh binder, Disc. Farad., Soc. № 18, 151 (1954); Л. А. Абдурагимова, П. А. Ребиндер, Н. Н. Серб-Сербина, Колл. журн. **17**, 3, 184 (1955).
- ¹⁰ L. J. G. Ewijk, J. Inst. Metals, **56**, 241 (1935); G. W. Austin, ibid., **58**, 173 (1936).
- ¹¹ C. S. Smith, Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng., **175**, 15 (1948).
- ¹² R. Eborall, P. Gregory, J. Inst. Metals, **84**, № 1662, 88 (1955).
- ¹³ С. Т. Кишкин, ДАН, **95**, № 4, 781 (1954).
- ¹⁴ С. Т. Кишкин, В. В. Николенко, ДАН, **110**, № 6 (1956).
- ¹⁵ С. И. Ратнер, ЖТФ, **24**, 1455 (1954).
- ¹⁶ Я. М. Потак, И. М. Щеглаков, ЖТФ, **25**, 897 (1955).
- ¹⁷ М. Хансен, Структуры бинарных сплавов (пер. с немецк.) М. — Л., 1941.

Е. РУКЕНШТЕЙН и О. СМИГЕЛЬСКИЙ

К ВОПРОСУ О КОЭФФИЦИЕНТАХ АКТИВНОСТИ ДЛЯ БИНАРНЫХ СМЕСЕЙ НЕЭЛЕКТРОЛИТОВ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 20 IX 1956)

Уравнения, предложенные ван Лааром ⁽¹⁾ для коэффициентов активности бинарных смесей неэлектролитов, имеют вид

$$\lg \gamma_1 = AF(\eta); \quad \lg \gamma_2 = BF\left(\frac{1}{\eta}\right), \quad (1)$$

где

$$F(\eta) \equiv \frac{1}{(1+\eta)^2}, \quad \eta \equiv \frac{Ax_1}{Bx_2} \quad (2)$$

(x — молярная доля в жидкой фазе; γ — коэффициент активности; индексы 1 и 2 указывают на первый и второй компоненты смеси, соответственно; A и B — эмпирические постоянные).

Экспериментальные данные, полученные Штейнгаузером и Уайтом ⁽²⁾ для смеси метилэтилацетон — n -гептан, могут быть представлены уравнениями вида (1), но функция F недостаточно хорошо выражается функцией, соответствующей уравнениям ван Лаара*. Это привело нас к попытке подыскать выражения вида (1), находящиеся в лучшем согласии с экспериментом, чем уравнения ван Лаара.

Так как любое выражение для коэффициентов активности должно удовлетворять уравнению Гиббса — Дюгема, мы постараемся сначала найти семейство решений вида (1), удовлетворяющих этому уравнению.

Подставляя выражения (1) в уравнение**

$$x_1 d \lg \gamma_1 + x_2 d \lg \gamma_2 \approx 0, \quad (3)$$

являющееся следствием уравнения Гиббса — Дюгема, получаем функциональное уравнение

$$\eta dF(\eta) + dF\left(\frac{1}{\eta}\right) \approx 0. \quad (4)$$

Если ввести новую переменную μ при помощи соотношения

$$\eta = \frac{1+\mu}{1-\mu}, \quad (5)$$

то можно написать

$$F(\eta) = F\left(\frac{1+\mu}{1-\mu}\right) \equiv \varphi(\mu), \quad (6a)$$

$$F\left(\frac{1}{\eta}\right) = F\left(\frac{1-\mu}{1+\mu}\right) \equiv \varphi(-\mu). \quad (6b)$$

* Уравнения Маргулеса или Скатчарда не представляют эти опытные данные лучше, чем уравнение ван Лаара.

** Уравнение (3) строго справедливо при постоянных давлении и температуре. Применяя для вычисления коэффициентов активности кривую равновесия жидкость — пары, определенную при постоянном давлении, из закона фаз получим, что для бинарной смеси температура не постоянна. Но член, содержащий дифференциал температуры, обычно опускается

Уравнение (4) запишется так:

$$(1 + \mu) \frac{d\varphi(\mu)}{d\mu} = (1 - \mu) \frac{d\varphi(-\mu)}{d(-\mu)}. \quad (7)$$

Таким образом:

$$(1 + \mu) \frac{d\varphi(\mu)}{d\mu} = P(\mu), \quad (8)$$

причем $P(\mu)$ — четная функция μ .

Ввиду того что $F(\eta)$ должна стремиться к нулю при $x_1 \rightarrow 1$, $\varphi(\mu) \rightarrow 0$ при $\mu \rightarrow 1$. Учитывая это при интегрировании уравнения (8), получаем

$$\varphi(\mu) = \int_1^\mu \frac{P(\mu)}{1 + \mu} d\mu. \quad (9)$$

В частном случае уравнений ван Лаара имеем

$$\varphi(\mu) = \left(\frac{1 - \mu}{2} \right)^2, \quad (10)$$

$$P(\mu) = -1/2 (1 - \mu^2). \quad (11)$$

Вместо того чтобы пользоваться для $P(\mu)$ выражением (11), мы используем исправленное выражение

$$P(\mu) = -1/2 (1 - \mu^2) (1 + \varepsilon \mu^2), \quad (12)$$

где ε — новая эмпирическая константа.

Подставляя (12) в (9), получаем

$$\varphi(\mu) = \frac{1}{4} + \frac{\varepsilon}{24} - \frac{1}{2} \mu + \frac{1}{4} \mu^2 - \frac{1}{6} \varepsilon \mu^3 + \frac{1}{8} \varepsilon \mu^4. \quad (13)$$

Обозначив $A' = (\lg \gamma_1)_{x_1=0}$, $B' = (\lg \gamma_2)_{x_2=0}$ (A' и B' — эмпирические постоянные), получим

$$\lg \gamma_1 = \frac{A'}{1 + \varepsilon/3} \left[\frac{1}{4} + \frac{\varepsilon}{24} - \frac{1}{2} \frac{A'x_1 - B'x_2}{A'x_1 + B'x_2} + \frac{1}{4} \left(\frac{A'x_1 - B'x_2}{A'x_1 + B'x_2} \right)^2 - \frac{\varepsilon}{6} \left(\frac{A'x_1 - B'x_2}{A'x_1 + B'x_2} \right)^3 + \frac{1}{8} \left(\frac{A'x_1 - B'x_2}{A'x_1 + B'x_2} \right)^4 \right], \quad (14a)$$

$$\lg \gamma_2 = \frac{B'}{1 + \varepsilon/3} \left[\frac{1}{4} + \frac{\varepsilon}{24} + \frac{1}{2} \frac{A'x_1 - B'x_2}{A'x_1 + B'x_2} + \frac{1}{4} \left(\frac{A'x_1 - B'x_2}{A'x_1 + B'x_2} \right)^2 + \frac{\varepsilon}{6} \left(\frac{A'x_1 - B'x_2}{A'x_1 + B'x_2} \right)^3 + \frac{\varepsilon}{8} \left(\frac{A'x_1 - B'x_2}{A'x_1 + B'x_2} \right)^4 \right]. \quad (14b)$$

Определить ε из экспериментальных данных удобнее всего при том значении x_1 , при котором

$$A'x_1 = B'x_2. \quad (15)$$

В этом случае уравнения (14) приводят к

$$1 + \frac{\varepsilon}{3} = \frac{A'}{\lg \gamma_1} \left(\frac{1}{4} + \frac{\varepsilon}{24} \right), \quad 1 + \frac{\varepsilon}{3} = \frac{B'}{\lg \gamma_2} \left(\frac{1}{4} + \frac{\varepsilon}{24} \right), \quad (16)$$

причем γ_1' и γ_2' представляют собой коэффициенты активности при значении x_1 , получаемом из уравнения (15).

Из того что для смесей, представляющих симметрию, выражаемую уравнениями (1), имеем всегда

$$\frac{A'}{\lg \gamma_1} = \frac{B'}{\lg \gamma_2}, \quad (17)$$

следует, что система уравнений (16) совместна.

Подчеркнем, что даже если условие (17) недостаточно хорошо выполняется, все еще возможно представить опытные данные при помощи уравнений (14), если подобрать подходящее значение для ϵ .

Эмпиричность предложенных нами формул для коэффициентов активности не позволяет уточнить условия их применимости.

Как следует из рис. 1, уравнения (14) хорошо представляют опытные данные. Уравнения ван Лаара хорошо представляют опытные данные из

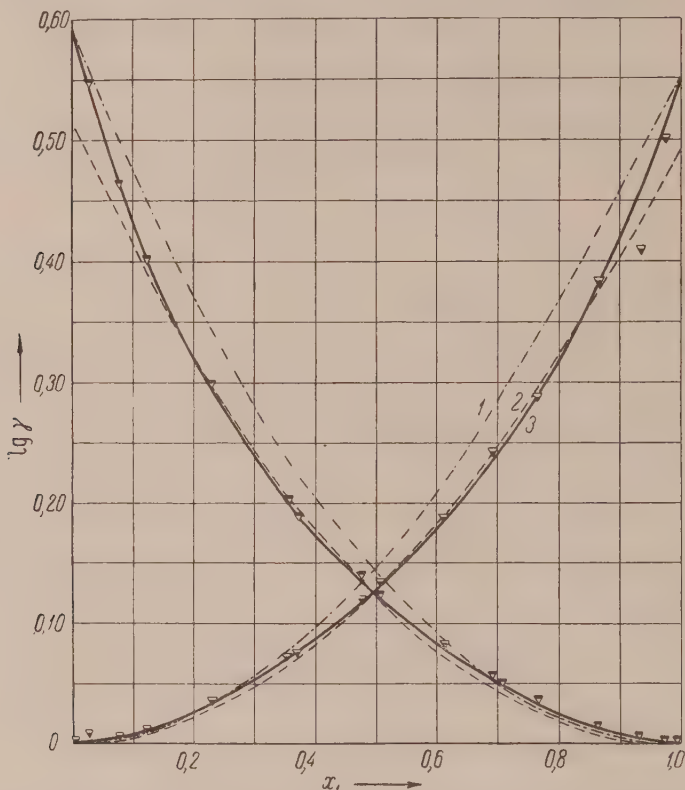


Рис. 1. Система метилэтилацетон — *n*-гептан: 1 — уравнения ван Лаара, в которых $A = (\lg \gamma_1)_{x_1=0}$ и $B = (\lg \gamma_2)_{x_2=0}$; 2 — уравнения ван Лаара, в которых A и B вычислены из координат точки пересечения обеих кривых; 3 — уравнения (14), в которых $A' = 0,590$, $B' = 0,565$, $\epsilon = 0,996$

центральной области, если постоянные определяются из точек, расположенных в этой области.

В заключение мы хотим подчеркнуть, что главной целью этой заметки являлось решение математической задачи, возникшей в связи с изучением смеси метилэтилацетон — *n*-гептан. В известном смысле аналогичная, но более простая задача обсуждалась Гугенгеймом ⁽³⁾.

Уравнения (14) применяются также к смесям 2-метил-3-бутин-2-ол — вода и 3-гидрокси-3-метил-2-бутанон — вода ⁽⁴⁾. Как видно из рис. 2 и 3, уравнения (14) хорошо представляют опытные данные также и в области $0 < x_1 < 0,1$, в которой уравнения ван Лаара дают значительные отклонения. В ⁽⁴⁾ отмечается, что уравнения Моргулеса и Скатчерда представляют опытные данные не лучше, чем уравнения ван Лаара.

Ввиду того что в области $x_1 > 0,6$ опытные данные для γ_2 , взятые из (4), совместимы с термодинамической точки зрения (что отмечается в (4)),

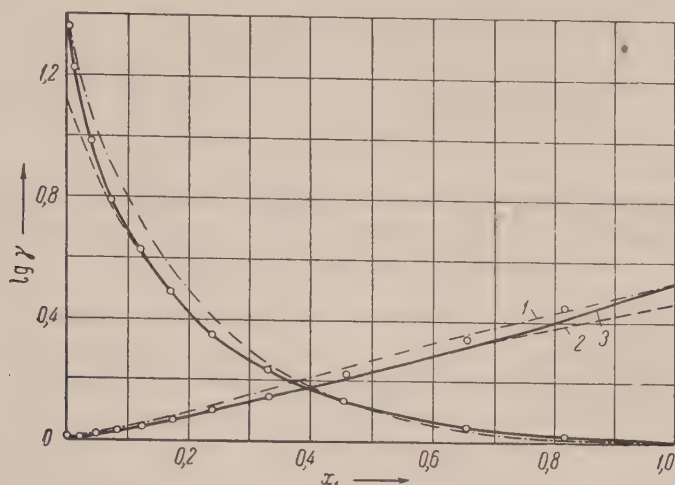


Рис. 2. Система 2-метил-3-бутин-2-ол — вода: 1 — уравнения ван Лаара, в которых A и B представляют собой максимальные значения логарифма коэффициентов активности; 2 — уравнения ван Лаара, в которых постоянные A и B вычислены из координат точки пересечения обеих кривых; 3 — уравнения (14), в которых $A' = 1,4$; $B' = 0,514$, $\epsilon = 1$

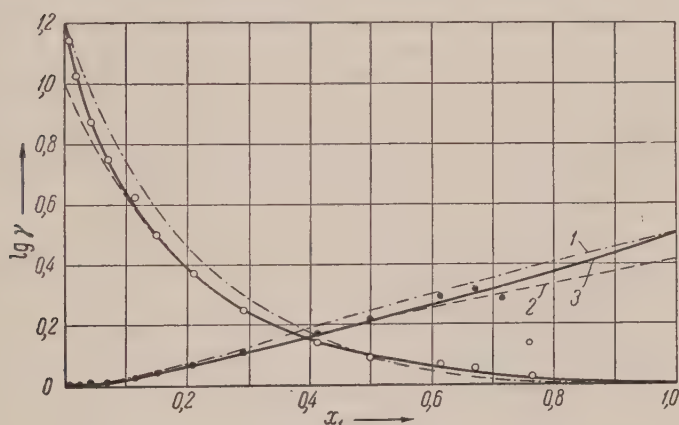


Рис. 3. Система 3-гидрокси-3-метил-2-бутанон — вода: 1 — уравнения ван Лаара, в которых A и B представляют собой максимальные значения логарифма коэффициентов активности; 2 — уравнения ван Лаара, в которых постоянные A и B вычислены из координат точки пересечения обеих кривых; 3 — уравнения (14), в которых $A' = 1,2$, $B' = 0,491$, $\epsilon = 1,1$

мы определили $B' = (\lg \gamma_2)_{x_1=1}$ из кривой $\lg \gamma_1$, x_1 , применяя интегральную форму уравнения Гиббса — Дюгема.

Политехнический институт
Бухарест, Румынская Народная Республика

Поступило
10 IV 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. С. Carlson, A. P. Colburn, Ind. Eng. Chem., **34**, 581 (1942). ² Н. Н. Stephauser, R. R. White, Ind. Eng. Chem., **41**, 2912 (1949). ³ E. A. Guggenheim, Thermodynamics, Amsterdam, 1950, p. 201. ⁴ A. Conner, Ph. Eiling, J. Benischek, Ph. Tobias, S. Stenigises, Ind. Eng. Chem., **42**, 106 (1950).

Н. М. ЭМАНУЭЛЬ

СТИМУЛИРОВАНИЕ ЦЕПНЫХ РАЗВЕТВЛЕННЫХ РЕАКЦИЙ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОНИКАЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 24 VII 1956)

Характерной особенностью цепных реакций является их сильная восприимчивость к разнообразным воздействиям. Любой элементарный процесс, приводящий к образованию или гибели свободных атомов и радикалов, умножается в соответствии с длиной цепи в десятки и тысячи раз, проявляясь в виде эффектов значительного ускорения или торможения химической реакции. Поэтому и воздействие проникающих (ионизирующих) излучений, сводящееся в конечном счете к созданию свободных атомов и радикалов, должно, согласно общепринятым взглядам, быть полезным для целей инициирования цепных реакций.

Настоящая работа посвящена частному вопросу общей проблемы воздействия проникающих излучений на цепные реакции, а именно, выяснению возможности использовать это воздействие для стимулирования цепных разветвленных реакций в начальный период их развития (с тем, чтобы после прекращения облучения процесс развивался с повышенной скоростью уже за счет разветвления цепей). Процессы окисления органических веществ, в частности углеводов, которые, согласно Н. Н. Семенову (¹), относятся к классу цепных реакций с вырожденными разветвлениями, являются объектами, весьма подходящими для вышеуказанной цели.

Впервые систематические исследования действия излучения (рентгеновское излучение, электронный поток) на процессы окисления молекулярных кислородом различных органических веществ (*n*-гептан, изооктан, циклогексан, толуол, бензол, этиловый спирт, уксусная кислота) были выполнены Н. А. Бах с сотрудниками (²⁻⁵). В этих работах было констатировано образование перекисных соединений в качестве первичных продуктов окисления, а затем и всей сложной гаммы продуктов — спиртов, кетонов, кислот и др. — в зависимости от класса окисляемого вещества. Отличительной особенностью условий, в которых проводились опыты по окислению углеводов, была сравнительно низкая температура (0; 25 и 60°) и непрерывное в течение всего процесса облучение химической системы.

Таким образом, воздействие проникающего излучения на процесс окисления изучалось в условиях, когда в системе из-за низкой температуры не могли развиваться сколько-нибудь длинные цепи. Поэтому невысокий выход кислородсодержащих продуктов был обязан главным образом сравнительно небольшому числу радикальных реакций, вызванных непосредственным действием облучения, без развития цепи. По всей вероятности, небольшой выход продуктов был связан также и с непрерывным характером воздействия облучения. При этом образовавшиеся продукты окисления снова вовлекались в радиационно-химические процессы, наряду с исходным углеводородом.

Мы решили использовать действие проникающего излучения как способ повышения начальной скорости зарождения цепей, но в условиях, когда цепная реакция может осуществляться сама по себе, с развитием достаточно длинных цепей, т. е. при повышенной температуре. Кроме того, принимая

Внимание цепной разветвленный механизм процесса окисления углеводов, мы решили производить облучение не в течение всего времени реакции, а лишь в начальный период ее развития. Тем самым можно было надеяться сохранить от последующего радиолитического разложения образовавшиеся продукты окисления.

В качестве объекта исследования был избран процесс окисления парафина марки «Кепсен» (из бурого угля ГДР) кислородом воздуха, продуваемого через расплавленный парафин при 127°. Без катализатора процесс окисления этого парафина протекает крайне медленно. Как видно из рис. 1, 1 — период индукции реакции в этом случае составляет около 370 час., период же реакции около 25 час. При этом реакция окисления прекращается до кислотного числа ~70, что соответствует окислению около 40% исходного парафина.

По-иному обстоит дело, если окисляющийся парафин при 127° подвергается в начальный период развития процесса

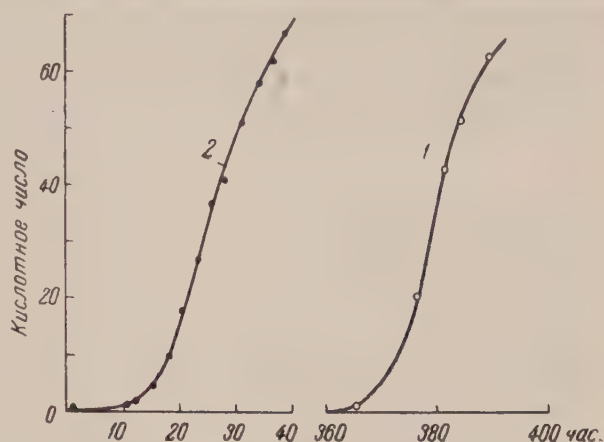


Рис. 1. Стимулирование процесса окисления парафина при 127° действием γ -излучения: 1 — неиницированное окисление; 2 — окисление после непродолжительного воздействия γ -излучения Co^{60} в начальный период развития процесса

непродолжительному воздействию γ -излучения Co^{60} . Парафин, залитый в стеклянную окислительную ячейку, через которую продувался воздух, облучался нами в течение 1 часа 10 мин. γ -излучением кобальтового источника мощностью в 4,3 кюри. Расстояние от источника до окислительной ячейки составляло 30 см. Этого воздействия оказалось достаточно, чтобы период индукции при дальнейшем окислении (уже без облучения) сократился с 370 до 12 час. (см. рис. 1, 2). Иными словами, сильный стимулирующий эффект был достигнут в результате лишь незначительного воздействия γ -излучения общей дозой в 70 г (мощность дозы 1 г/мин.).

Полученный результат, подтверждая нашу точку зрения о принципах эффективного использования действия проникающих излучений, свидетельствует о необходимости развернуть более обстоятельные, систематические исследования воздействий γ -излучения на процесс окисления парафина и других углеводов в условиях, когда возможно развитие медленно нарастающего цепного, самоподдерживающегося процесса. Такие исследования в настоящее время проводятся нами совместно с А. Н. Поманским.

Результаты опытов с парафином показывают, что действие проника-

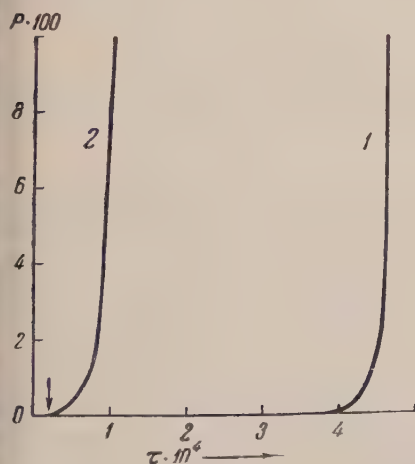
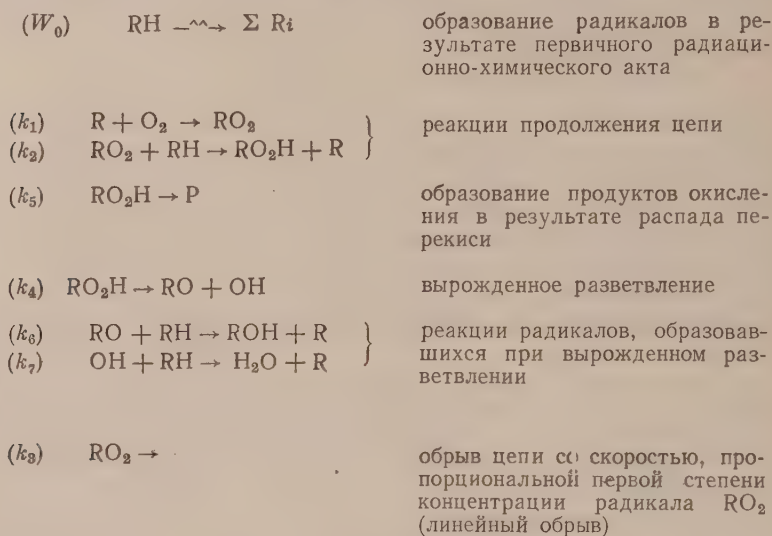


Рис. 2. Кинетические кривые образования продуктов в цепной реакции с вырванными разветвлениями: 1 — нестимулированная реакция; 2 — развитие процесса, стимулированного путем повышения скорости зарождения цепей в начальный период реакции

ющих излучений может оказаться полезным для практического использования.

Нетрудно показать, что цепная теория вырожденных разветвлений Н. Н. Семенова позволяет в первом приближении понять эффект непропорционального стимулирования воздействием γ -излучения. В работе (6) мы уже рассматривали этот вопрос применительно к предложенному нами методу газового инициирования для упрощенной схемы цепного разветвленного процесса с вырожденными разветвлениями. Рассмотрим теперь случай, более близко отвечающий реальной схеме процесса окисления (включающего образование промежуточной перекиси):



В этом случае, полагая концентрации всех радикалов, кроме RO_2 (наименее активный радикал), стационарными, получаем

$$\begin{aligned}\frac{d(RO_2)}{dt} &= w_0 + 2k_4(RO_2H) - k_3(RO_2), \\ \frac{d(RO_2H)}{dt} &= k_2(RO_2)(RH) - k_5(RO_2H), \\ \frac{d(P)}{dt} &= k_5(RO_2H)\end{aligned}$$

или, пренебрегая выгоранием углеводорода и вводя безразмерные переменные и безразмерные параметры

$$\begin{aligned}k_5 t = \tau; \quad x &= \frac{(RO_2H)}{(RH)}; \quad y = \frac{(RO_2) k_5}{k_4 (RH)}; \quad p = \frac{(P)}{(RH)}; \\ \frac{w_0}{k_4 (RH)} &= \omega_0; \quad \frac{k_3}{k_5} = \alpha; \quad \frac{k_2 k_4 (RH)}{k_5^2} = \beta,\end{aligned}$$

перепишем систему кинетических уравнений в виде

$$\frac{dy}{d\tau} = \omega_0 + x - \alpha y; \quad \frac{dx}{d\tau} = \beta y - x; \quad \frac{dp}{d\tau} = x.$$

Это есть система трех линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, причем последнее уравнение может решаться независимо от двух первых. Принимая, что в исходной системе гидроперекись отсутствует, имеем начальные условия: при $\tau = 0$, $x = 0$ и $y = 0$. В результате получаем

$$x = \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} \left[\frac{\mu_2}{\mu_1+\mu_2} \cdot e^{-\mu_1\tau} + \frac{\mu_1}{\mu_1+\mu_2} e^{\mu_2\tau} - 1 \right],$$

$$\mu_1 = \frac{1}{2} [\alpha + 1 + \sqrt{(\alpha + 1)^2 + 4(\beta - \alpha)}],$$

$$\mu_2 = \frac{1}{2} [\sqrt{(\alpha + 1)^2 + 4(\beta - \alpha)} - (\alpha + 1)]$$

$$p = \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} \left[-\frac{\mu_2}{\mu_1(\mu_1+\mu_2)} (e^{-\mu_1\tau} - 1) + \frac{\mu_1}{\mu_2(\mu_1+\mu_2)} (e^{\mu_2\tau} - 1) - \tau \right].$$

Полученная формула для p может быть упрощена, исходя из тех соображений, что всеми слагаемыми в ней, не содержащими множителя $e^{\mu_2\tau}$, можно достаточно больших τ можно пренебречь, и потому

$$p = \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2(\mu_1+\mu_2)} e^{\mu_2\tau}.$$

Пологая $\alpha = 10^4$; $\beta = 10^8$ и $\omega_0 = 10^{-10}$ (для нестимулированной реакции), находим $p = 10^{-13,95+2,7 \cdot 10^4\tau}$. Кинетическая кривая нестимулированной реакции показана на рис. 2, 1.

В том случае, если в начальный период развития реакции до периода времени τ_1 осуществлялось стимулирование процесса путем увеличения начальной скорости зарождения активных центров (воздействие проникающего излучения), то при τ_1 величина $x = x_1$; в системе имеется некоторая концентрация продуктов окисления $p = p_1$ и мы получаем

$$x = -\frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} + \frac{1}{\mu_1+\mu_2} \left[x_1(1+\mu_2) + \mu_2 \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} \right] e^{-\mu_1(\tau-\tau_1)} + \frac{1}{\mu_1+\mu_2} \left[\mu_1 \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} + x_1(\mu_1-1) \right] e^{\mu_2(\tau-\tau_1)},$$

$$p = p_1 - \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} (\tau - \tau_1) - \frac{1}{(\mu_1+\mu_2)\mu_1} \left[x_1(1+\mu_2) + \mu_2 \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} \right] e^{-\mu_1(\tau-\tau_1)} + \frac{1}{\mu_2(\mu_1+\mu_2)} \left[x_1(\mu_1-1) + \mu_1 \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} \right] e^{\mu_2(\tau-\tau_1)}$$

т. е., упрощая,

$$p = \frac{e^{-\mu_2\tau_1}}{\mu_2(\mu_1+\mu_2)} \left[x_1(\mu_1-1) + \mu_1 \frac{\beta\omega_0}{\beta-\alpha} \right] e^{\mu_2\tau}.$$

Пологая при вычислении x_1 , что $\tau_1 = 0,2 \cdot 10^{-4}$, а безразмерную начальную скорость зарождения цепи в стимулированной реакции $\omega_{0s} = 1$, получаем

$$p = 10^{-3,86+2,7 \cdot 10^4\tau}.$$

Соответствующая кинетическая кривая показана на рис. 2, 2. Отчетливо видно, что непродолжительное стимулирование процесса с последующим его прекращением оказывается достаточным для того, чтобы в дальнейшем процесс развивался с повышенной скоростью за счет вырожденно разветвленного механизма реакции.

Предложенный принцип стимулирования цепных разветвленных реакций воздействием проникающих излучений в начальный период развития процесса заслуживает дальнейшего исследования в первую очередь на примерах окисления углеводородов в жидкой фазе, а также сжиженных углеводородных газов при температурах, близких к критической.

Автор выражает благодарность А. Н. Поманскому и Д. Г. Кнорре за помощь при выполнении работы.

Поступило
29 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Н. Семенов, Цепные реакции, Л., 1934. ² Н. А. Бах, Сборн. работ по радиационной химии, Изд. АН СССР, 1955, стр. 145. ³ Н. А. Бах, Н. И. Попов, там же, стр. 156. ⁴ Н. А. Бах, Ю. И. Сорокин, там же, стр. 163. ⁵ Н. А. Бах, В. В. Сараява, там же, стр. 175. ⁶ Н. М. Эмануэль, ЖФХ, 10, 847 (1956).

К. Ф. РОДИОНОВА, Л. Е. ШТЕРЕНБЕРГ и Н. Г. ГРИБКОВА

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ УГЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК

(Представлено академиком Н. М. Страховым 1 X 1956)

Люминесцентный метод анализа битуминозных веществ осадочных пород приобрел широкое распространение в СССР особенно за последние годы. Он применяется для обнаружения присутствия битумов, для прослеживания нефтяных пластов, а в ряде случаев и для установления границ отдельных горизонтов. Некоторые исследователи считают возможным использовать данные люминесцентного анализа для классификации битумов (4), для установления циклов битумообразования (1) и степени метаморфизма органического вещества осадочных отложений (3). Кривые люминесцентно-

Таблица 1

Содержание битуминозных и гуминовых веществ в различных углях, установленное полуколичественным люминесцентно-эталонным методом

№№ проб	Место отбора пробы	Класс и марка угля	Петролей- но-эфир- ный экс- тракт	Бензол- ный экс- тракт	Хлорофор- менный экстракт	Ацетоно- вый экс- тракт	Сирто- бензол- ный экс- тракт	Изобути- ловый сирт.	2%-й рас- твор NaOH
			в процентах на породу						
7	Болгарская Народная Республика	Лигнит	0,010	0	6,00	7,0	8,0	15,6	12,4
8	Подмосковный бас- сейн, шахта № 44 Смординская	Гумусовый бурый уголь	0,015	0,624	6,00	12,0	4,0	0,60	18,8
10	Подмосковный бас- сейн, шахта № 5 Готовская	Сапропелевый бу- рый уголь	0,005	0,470	3,12	0,624	1,25	0,30	0,50
14	Донбасс, Лисичанский район, шахта Ново- дружевка, пласт 1 ₁	Гумусовый длинно- пламенный	0,060	0,936	8,00	15,60	24,0	0,40	0,90
16	Донбасс, Кураховский район, шахта 42, пласт m ₂	Сапропелевый длиннопламенный	0,080	0,936	6,00	15,76	15,76	0,30	0,40
13	Донбасс, Красноармей- ский район, шахта 1—α До́рополе, пласт 1 ₂	Гумусовый газовый	0,240	0,936	15,60	23,40	11,80	1,18	0,0
12	Донбасс, Центральный район, шахта 1 ⁹ / ₂₀ , пл ст m ₂	Гумусовый паро- вично-жирный	0,160	0,624	11,80	3,12	3,12	0,80	0,0
11	Донб.сс шахта К. Мар- кса, пласт 1 ₂	Гумусовый коковый	0,040	0,936	15,60	3,12	2,36	0,60	0,0
5	Донбасс, шахта Кр. Профинт., пласт K ₂	Гумусовый паро- вично-спекающий- ся	0,015	0,624	8,00	3,12	2,36	0,025	0,0
15	Донбасс шахта Крас- ный Октябрь, пласт K ₂	То же	0,060	0,240	6,00	0,472	0,240	0,075	0,0
4	Донбасс, шахта Юн- ком, пласт K ₄	Гумусовый тощий	0,0012	0,240	1,60	0,472	0,240	0,019	0,0
2	Донбасс, шахта 11 Ольховка, пласт K ₁	Гумусовый полуантрацит	0	0,012	0,312	0,240	0,240	0,006	0,0
17	Донбасс, Зуевский рай- он, шахта 39 оис, пласт c ₂	Сапропелевый антрацит	0,0017	0,015	0,019	0,005	0,030	0,003	0,0
1	Донбасс, Зуевский рай- он, шахта 14—14, пласт n ₀	Гумусовый антрацит	0	0	0	0	0,0001	0	—

экстракционной характеристики углей, нефти и асфальтов ⁽²⁾ используется рядом исследователей для отнесения битуминозных веществ к «угольному или нефтяному ряду». А. А. Карцев ⁽²⁾ сочетал метод люминесцентного полуколичественного эталонного анализа для низких концентраций битумов и метод визуального колориметрического анализа — для высоких концентраций. Этим, по-видимому, и объясняется достаточно близкие значения бензольного и хлороформенного экстракта, полученные им для каменных и бурых углей.

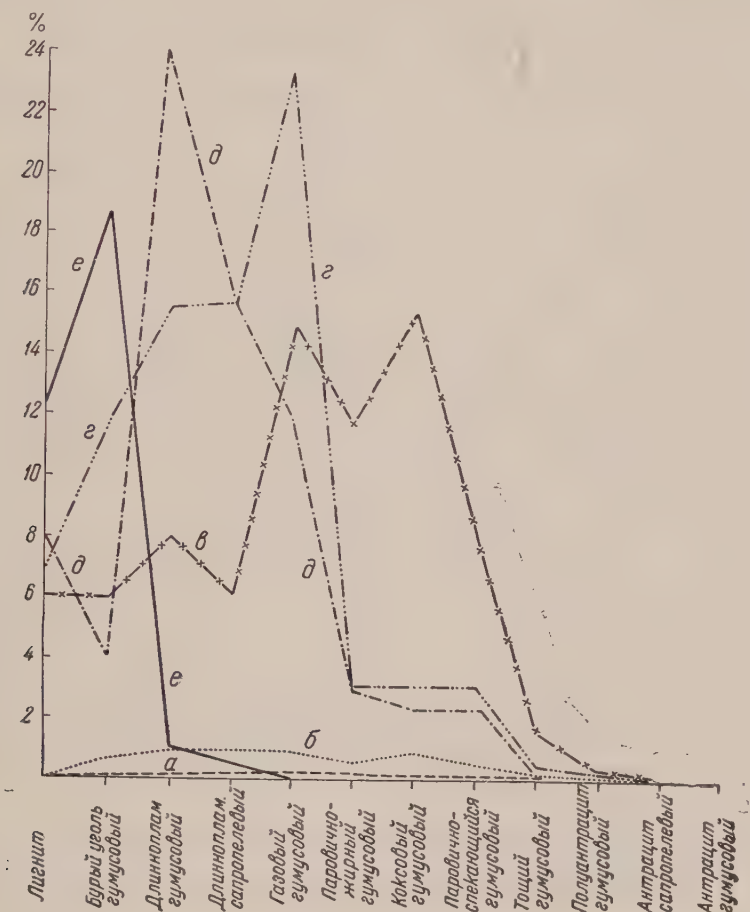


Рис. 1. Количество битуминозных веществ, извлекаемых различными растворителями из углей разных марок. а — petroleumный эфир, б — бензол, в — хлороформ, г — ацетон, д — спиртобензол, е — гуминовая кислота.

В своей работе при изучении люминесцентных свойств углей различных марок (представленных в основном углями Донбасса) мы применили в качестве растворителей нейтральных битуминозных компонентов petroleumный эфир, вскипающий до 50°, бензол и хлороформ, а для растворения кислых битуминозных и гуминовых веществ — ацетон, спирто-бензол и 2% водный раствор едкого натра. Навеска измельченного угля в 0,25 г заливалась в пробирке 5 мм растворителя, содержимое перемешивалось и оставлялось на ночь. На второй день растворы* просматривались при ультрафиолетовом освещении и сравнивались с подходящими эталонными коллекциями. Те из растворов, в которых наблюдалось «концентрационное тушение», разбавлялись до 9—10 балла, по коллекции В. Н. Флоров-

* Хлороформенный экстракт фильтровался на стеклянном фильтре (№ 3).

ской; это разбавление учитывалось затем при вычислении количественного содержания битуминозных веществ.

Работа показала, что количество свободных гуминовых веществ повышается от лигнита (12%) к бурым углям (18%) и резко уменьшается (0,9—0,4%) в газовых каменных углях (табл. 1, рис. 1).

Весьма интересным оказалось распределение отдельных групп битуминозных веществ в углях различных марок (табл. 1, рис. 1). Максимум наиболее кислых компонентов, извлекаемых спирто-бензолом, характеризует малометаморфизованные (Д) каменные угли; максимум циклических кислородсодержащих соединений, извлекаемых ацетоном, характеризует угли более метаморфизованные (Г); однако последние содержат также и большое количество веществ, извлекаемых хлорсформом; в то же время значение спирто-бензольного экстракта в них сильно уменьшилось. Преобладающее количество нейтральных битуминозных веществ (хлороформенный экстракт), при высоком абсолютном их значении, установлено в углях паровично-жирных и коксовых при одновременном резком уменьшении в них кислых битуминозных компонентов. В угле тощем отмечается уже общее падение битуминозных веществ.

Рассмотрение кривых гуминовых веществ и спирто-бензольного экстракта (до углей Д), являющихся как бы зеркальным отображением друг друга, наводит на мысль о возможности превращения гуминовых веществ в кислые битуминозные компоненты; то же можно сказать и относительно кривых спирто-бензольного и ацетонового экстракта, с одной стороны, и кривой хлороформенного экстракта — с другой.

Количество нейтральных битумов, представленных в основном углеводородами (петролейно - эфирный и бензольный экстракт) и в исследованных углях, судя по эффекту свечения, ничтожно мало, по сравнению с кислыми битуминозными компонентами, и почти не изменяется в зависимости от метаморфизма углей. Их относительное значение в углях высокометаморфизованных (ПЖ, Т) возрастает, но это возрастание кажущееся, а не абсолютное.

Работа показала, что в процессе метаморфизма органического вещества в нем изменяется количественное соотношение отдельных групп битуминозных веществ; наиболее кислые битуминозные компоненты сменяются менее кислыми, более восстановленными с постепенным уменьшением общего их количества. Это должно учитываться при интерпретации данных люминесцентно-экстракционного анализа.

Поступило
22 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. А. Еременко, С. Л. Максимов, Разведка недр, № 6 (1951). ² А. А. Карцев, ДАН, 65, № 2 (1949). ³ А. А. Карцев, ДАН, 65, № 3 (1949). ⁴ Ф. М. Эфендиев, Люминесцентный метод исследования нефтей и битумов, 1953.

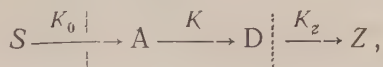
А. Г. ПАСЫНСКИЙ и В. П. БЛОХИНА

ОКИСЛЕНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПРОТОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

(Представлено академиком А. И. Опариным 6 IX 1956)

Ферментативные реакции в любой клетке живого тела происходят в условиях постоянной диффузии метаболитов в клетку и переноса продуктов реакции из клетки в омывающие жидкости, т. е. в проточных условиях. Между тем изучение ферментативных реакций ограничивалось до сих пор реакциями в замкнутых системах, в которых концентрации реагирующих веществ и скорость реакции непрерывно изменяются во времени до окончания процесса. В отличие от реакций в замкнутых системах, в открытой системе может установиться стационарное состояние, которое за счет обмена со средой может динамически поддерживаться в течение любого желательного промежутка времени. Ввиду несомненного интереса изучения стационарного состояния ферментативной реакции, в настоящей работе сделана первая попытка подобного исследования на примере простейшей реакции ферментативного окисления аскорбиновой кислоты до дегидроаскорбиновой кислоты $A \rightarrow D$ в присутствии пероксидазы.

Положим, что вещество A непрерывно поступает из внешней среды с коэффициентом переноса K_0 и при концентрации S , а продукт реакции D непрерывно удаляется из системы с коэффициентом переноса K_z и при концентрации Z . В этом случае получим открытую систему



где границы системы отмечены пунктирными линиями, S и Z относятся к внешней среде и K — константа скорости химической реакции $A \rightarrow D$. Обозначая концентрацию вещества A в данный момент времени через a , получим

$$\frac{da}{dt} = K_0(S - a) - Ka. \quad (1)$$

В стационарном состоянии концентрация A в системе динамически поддерживается во времени постоянной, т. е. $\frac{da}{dt} = 0$, откуда из уравнения (1) получим

$$\bar{a} = \frac{1}{1 + \left(\frac{K}{K_0}\right)} S, \quad (2)$$

где \bar{a} — стационарная концентрация вещества A (в нашем случае — аскорбиновой кислоты) в системе. Из уравнения (2) видно, что значение \bar{a} зависит от концентрации источника S , константы переноса (диффузии или проницаемости) K_0 и константы скорости химической реакции K . Всякое изменение любого из этих параметров открытой системы, а также внешних условий (температуры, давления и др.), будет приводить концентрацию аскорбиновой кислоты к новому стационарному состоянию.

Из общей теории открытых систем ⁽¹⁾ вытекают следующие характерные свойства стационарного состояния, представляющие интерес для настоящей работы: а) катализаторы (ферменты) в открытой системе влияют не только на скорость реакций, но и на стационарные концентрации реагирующих веществ; б) при изменении условий стационарного состояния в открытой системе развиваются компенсирующие процессы, направленные на сохранение свойств системы в смысле расширенного принципа Ле-Шателье (динамическая стабилизация стационарного состояния); в) переходы из одного стационарного состояния в другое в открытой системе происходят не по монотонным кривым, а через экстремальные состояния (обычно через положение максимума или минимума). В литературе эти свойства исследовались только на гидродинамической модели проточной воды ⁽²⁾ и на реакции дей-

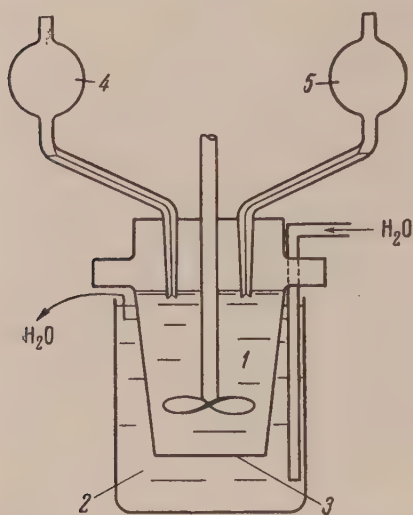


Рис. 1

ствия надсерной кислоты на глюкозу ⁽³⁾; в настоящей работе, как указывалось, исследование было впервые проведено на примере ферментативной реакции (окисления аскорбиновой кислоты).

Аскорбиновая кислота была взята кристаллическая; перекись водорода — х. ч. (28%-я); пероксидаза выделялась из хрена, причем препарат имел активность по пурпурогаллину около 35% ⁽⁴⁾. Концентрация аскорбиновой кислоты в смеси составляла 0,6% перекиси водорода — 0,1%, т. е. молярная концентрация аскорбиновой кислоты была несколько выше (на 15%); препарата фермента добавлялось 1—3 мг (предварительно растворенного в 1 мл воды) на 25 мл смеси равных объемов 1,2%-й аскорбиновой кислоты и 0,2%-й перекиси водорода. В ходе реакции каждые 10 мин отбиралась проба в 0,1 мл рас-

створа, в которой содержание аскорбиновой кислоты определялось титрованием при помощи 0,001 М KJO_3 , в присутствии KJ , с установлением конца титрования по иодокрахмальной реакции; воспроизводимость титрования составляла 0,02 мл, или 0,2—0,3% измеряемой величины. Отбор проб не нарушал хода реакции, так как объем пробы составлял лишь 0,4% объема раствора; в опытах с ферментом отбиралось всего 9—10 проб (за 90—100 мин), т. е. общее количество фермента убывало лишь на 4%, что не имело существенного значения для хода кривой.

Опыты проводились в приборе, изображенном на рис. 1. Реагирующая смесь (25 мл) помещалась в цилиндр 1 с натянутой внизу целлофановой мембраной диаметром 1,6 см; цилиндр 1 помещался в сосуд 2, через который непрерывно протекала термостатированная дистиллированная вода (в большинстве опытов при 20°), омывающая снаружи мембрану 3 и сливавшаяся через край сосуда 2 в приемник. Оба реагирующих раствора непрерывно поступали в сосуд 1 из сосудов 4 и 5 через узкие капилляры ($r = 0,1$ мм), концы которых были погружены в раствор; концентрация поступающего раствора перекиси водорода равнялась исходной (0,2%), а концентрация аскорбиновой кислоты была несколько выше (1,5%, или 0,0852 мол.). Приток реагирующих веществ из 4 и 5 составлял около 2—2,5 мл в час, а объем этих сосудов — 10 мл, причем уровень жидкости в них поддерживался постоянным; таким образом, за время опыта (1,5—2 часа) истечение происходило с почти постоянной скоростью. Практически проточные условия заключались в том, что в постоянный объем раствора в 1 непрерывно посту-

пали компоненты реакции со скоростью, соизмеримой со скоростью диффузионного переноса, а продукты реакции вместе с частью исходных веществ уносились из сосуда через мембрану 3. Первая часть опыта проводилась без фермента; затем, после установления стационарной концентрации AB (рис. 2, *I*) аскорбиновой кислоты (в течение 50—60 мин.), к раствору добавлялся препарат фермента и изучалось его влияние на установление нового стационарного состояния. Добавление в контрольном опыте в точке B вместо фермента 1 мл воды не оказывало заметного влияния на стационарную концентрацию аскорбиновой кислоты. Добавление же в точке B 1 мл раствора фермента (1—3 мг) ускоряло, естественно, скорость реакции, и титр аскорбиновой кислоты падал до точки C , но соответственно

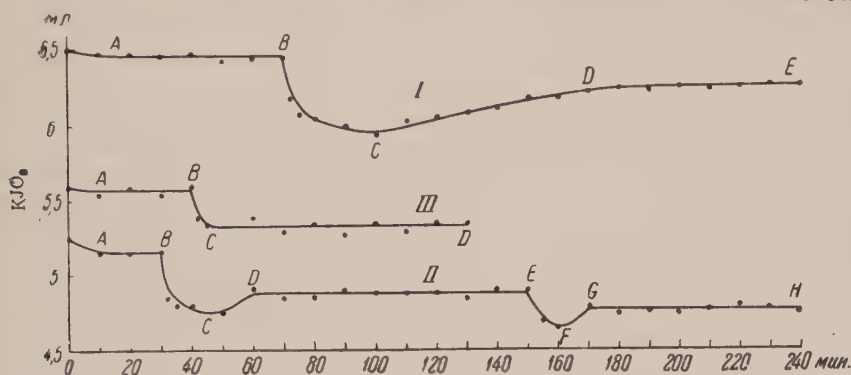


Рис. 2

затем падал и диффузионный перенос через мембрану — в результате в системе с ферментом устанавливалось новое стационарное состояние DE , столь же постоянное во времени, как и исходное состояние AB , но на более низком уровне, причем интересно, что состояние DE устанавливается более близким к AB , чем точка минимума C . Таким образом, переход из одного стационарного состояния в другое происходил не по плавной кривой $ABDE$, а проходил через минимум BCD . Аналогичные результаты были получены при концентрации аскорбиновой кислоты (в смеси) 0,3 и 1,1 %, при соответственном изменении уровня стационарной концентрации.

Если ферменты вносились дважды по 0,5 мг в 1 мл воды, с промежутком времени между добавками в 120 мин. (рис. 2, *II*), то после исходного стационарного состояния AB (без фермента) и внесения первой порции фермента наблюдалось прохождение минимума BCD и установление стационарного состояния DE , которое выдерживалось до 90 мин.; затем, после внесения в точке E второй порции фермента вновь наблюдалось прохождение минимума EFG , переходящего в новое стационарное состояние GH . Таким образом, при каждом новом ускорении химической реакции система переходит в новое стационарное состояние, каждый раз проходя через промежуточное экстремальное положение. Из кривых *I* и *II* видно, что уже простейшая ферментативная реакция в проточных условиях проявляет основные характеристики реакций в открытых системах: влияние катализатора на стационарные концентрации, способность системы к динамической стабилизации стационарного состояния, изменение стационарных уровней через промежуточные экстремальные состояния ($1-3$), которые отсутствуют в реакциях в замкнутых системах.

Интересно отметить, что последние свойства сохраняются лишь в определенных пределах изменений открытых систем. При слишком значительном ускорении химической реакции (например, при внесении 10 мг фермента) способность системы к компенсирующим изменениям ослабевает и переход стационарных состояний происходит по кривой *III*, а в дальнейшем вообще нарушается возможность установления стационарного состояния.

На основании уравнения (2) можно определить количественные пределы изменений кинетических параметров системы, совместимые с сохранением ею стабилизированных стационарных состояний (рис. 2, *I* и *II*). В уравнении (2) $S = 0,0852$; $\bar{a} \rightarrow$ молярная концентрация аскорбиновой кислоты в стационарном состоянии, вычисляемая по кривым *I* и *II* (отрезки *AB* и *DE*) из отношения \bar{a}/S по уравнению (2) определялось значение K/K_0 до и после внесения фермента. Следует оговорить, что значения K и K_0 в приборе на рис. 1 отличаются от уравнения (2) тем, что K_0 характеризует приток аскорбиновой кислоты путем течения, а не диффузии, а K — общую убыль аскорбиновой кислоты в результате химической реакции в сосуде *I* и диффузионного переноса через мембрану *3*, но ввиду того, что K_0 не зависит от внесения фермента, вычисляемое по уравнению (2) изменение K/K_0 остается обусловленным только относительным изменением K в результате внесения фермента; вычислялось также отношение стационарных уровней \bar{a}/\bar{a}_0 до и после внесения фермента. Результаты расчетов показывают, что исследованная нами система способна к стабилизирующим изменениям стационарного состояния при изменениях K примерно на 7—10% (соответственно стационарного уровня \bar{a} на 3—5%). При изменении кинетического параметра на 16 и 26% (соответственно \bar{a} на 10—16%) изменение стационарного состояния происходит уже не по кривым *I* и *II*, а по кривой *III*. Таким образом, способность данной системы к компенсирующим изменениям стационарного состояния ограничена изменениями кинетического параметра системы примерно на 10%.

Изменения скорости реакции можно было достичь также изменением температуры системы. Для этого после достижения исходного стационарного состояния *AB* вместо внесения фермента резко изменялась температура системы путем ее нагревания или охлаждения на 5° в течение 1—2 мин. В этом случае оказалось достаточным изменение вычисляемого отношения K/K_0 на 2—3% для преодоления компенсирующих свойств системы или даже для потери ею способности к достижению стационарного состояния.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР

Поступило
6 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Г. Пасынский, Усп. совр. биол. (в печати). ² A. Burton, J. Cell. Comp. Physiol., 14, 327 (1939). ³ K. Denbigh, M. Hicks, F. Page, Trans. Farad. Soc. 44, 479 (1948). ⁴ А. Н. Белозерский, Н. И. Проскуряков, Практическое руководство по биохимии растений, 1951.

А. С. СПИРИН, А. Н. БЕЛОЗЕРСКИЙ и А. ПРЕТЕЛЬ-МАРТИНЕС

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ У КУЛЬТУР КИШЕЧНОЙ ПАЛОЧКИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТОВ

(Представлено академиком А. И. Опариным 12 IX 1956)

Для разрешения поднимаемых в настоящее время вопросов видовой, органоидной, молекулярной специфичности нуклеиновых кислот⁽¹⁾ необходимо знать, претерпевают ли нуклеиновые кислоты качественные изменения в процессе индивидуального развития организма. Если такие изменения с закономерностью протекают во всех организмах, то сравнение состава нуклеиновых кислот необходимо проверить в организмах сопоставимого возраста. Вследствие этого вопрос о возрастной специфичности нуклеиновых кислот приобретает ключевое значение для освещения всех других сторон проблемы специфичности нуклеиновых кислот. Однако до сих пор в этом отношении в литературе имеются лишь весьма скромные и довольно противоречивые сведения. Данные некоторых авторов, главным образом из более ранних работ, говорят как будто бы о том, что нуклеиновые кислоты в течение индивидуального развития могут претерпевать закономерные качественные изменения своего состава^(2,3). С другой стороны, ряд более поздних работ, выполненных с применением более совершенных методов, дают материал, указывающий на отсутствие какой-либо заметной возрастной изменчивости состава нуклеиновых кислот⁽⁴⁻⁶⁾. Так или иначе, в настоящее время мы имеем лишь отрывочные и неполные сведения для очень незначительного числа организмов. Поэтому в настоящей работе и была предпринята попытка установить, изменяется ли с возрастом состав рибонуклеиновой кислоты (РНК) и дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) у бактерий кишечной группы. В качестве объекта мы избрали кишечную палочку, *Bact. coli commune* I. Мы исследовали три возраста этой культуры, для чего брали бактериальную массу, полученную в результате выращивания кишечной палочки на агаровой среде в течение 10, 20 и 30 час*.

Количественное изучение нуклеотидного состава РНК в исследуемой бактериальной массе мы проводили по описанной нами методике⁽⁷⁾.

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что культуры кишечной палочки исследованных возрастов не обнаруживают каких-либо ощутимых различий в составе РНК.

При изучении количественных соотношений азотистых оснований в ДНК трех исследуемых возрастов мы использовали промытый и высушенный после щелочного гидролиза остаток, содержащий ДНК. Дальнейшую работу с этим материалом мы производили в основных (принципиальных) чертах по схеме Маршака⁽⁸⁾, но заменили горячую экстракцию трихлоруксусной кислотой на соответствующую экстракцию хлорной кислотой⁽⁹⁾. Материал заливали 1 *N* HClO₄ и нагревали 20 мин. при 70°. Затем кислоту нейтрализовали КОН на холоду. После центрифугирования и отделения нейтрального экстракта осадок повторно нагревали с 1 *N* HClO₄, нейтрализовали, экстракт отделяли и объединяли с первым, а остаток, содержащий белок и осадок

* За предоставление материала для исследования выражаем глубокую благодарность Д. Г. Кудлай и А. Г. Скавронской.

КСlO₄, отбрасывали. Объединенный строго нейтральный экстракт выпаривали сначала на водяной бане, а затем — досуха — под вакуумом при комнатной температуре. Сухой остаток гидролизovali 0,5 мл 72%-й HClO₄ в запаянной ампуле в течение 1 часа при 100° (в кипящей воде). Гидролизат разводили в 10 раз водой, центрифугировали и центрифугат наносили на бумагу для хроматографии, по 80 мкл на пятно (порциями в 20 мкл) при слабом подсушивании. Хроматографическое разделение, элюция и все расчеты велись нами так же, как ранее (7). Кроме того, в качестве растворителя, помимо

Таблица 1

Количественные соотношения нуклеотидов РНК у кишечной палочки (Bact. coli I)

Возраст в час.	Содержание нуклеотидов в РНК в мол. %				Пурин	Пиримидин	$\frac{г+ц}{а+у}$	$\frac{г+у}{а+ц}$
	г	а	ц	у				
10	31,8	26,8	23,2	18,2	1,42	1,22	1,00	
20	32,6	26,4	23,1	17,9	1,44	1,26	1,02	
30	31,9	26,7	23,1	18,3	1,42	1,22	1,01	

Примечание: г — гуаниловая кислота, а — адениловая, ц — цитидиловая и у — уридиловая.

Однако необходимо отметить, что в случае описанной здесь методики (схема Маршака) часто, особенно при употреблении кислого растворителя, получались довольно значительные расхождения в цифрах между отдельными определениями из одного и того же гидролизата, — очевидно, за счет большой загрязненности гидролизатов посторонними веществами. Поэтому для получения надежных количественных данных по приводимой здесь методике требовалось большое количество определений из каждого гидролизата.

Полученные в результате данные по соотношению азотистых оснований в ДНК культур трех исследуемых возрастов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Соотношение оснований в ДНК кишечной палочки (Bact. coli I)

Возраст в час.	Содержание оснований в ДНК в мол. %				Пурин	Пиримидин	$\frac{Г}{Ц}$	$\frac{А}{Т}$	$\frac{Г+Т}{А+Ц}$	$\frac{Г+Ц}{А+Т}$
	Г	А	Ц	Т						
10	25,4	22,8	27,6	24,2	0,93	0,92	0,94	0,99	1,13	
20	27,3	23,7	26,2	22,8	1,04	1,04	1,04	1,01	1,15	
30	26,8	22,9	27,1	23,2	0,99	0,99	0,99	1,00	1,17	

Примечание: Г — гуанин, А — аденин, Ц — цитозин и Т — тимин.

Для проверки полученных данных мы произвели определение количественных соотношений оснований ДНК этого штамма кишечной палочки также и методом, описанным ранее (7). В результате мы получили следующие цифры (в молярных %): Г = 26,4; А = 22,8; Ц = 27,0; Т = 22,8. Отношение $\frac{Г+Ц}{А+Т} = 1,14$. Таким образом, полученные совершенно другим методом данные по составу ДНК хорошо совпали с приведенными в табл. 2, что говорит о достоверности представленных в ней результатов. Этот факт (совпа-

ение результатов, полученных разными методами) подтверждает также сделанный в другой нашей работе (?) вывод о том, что суммарная ДНК кишечной палочки относится к ГЦ-типу, а не представляет собой «статистического странуклеотида». Что касается метода, то сразу следует оговорить безусловное преимущество опубликованного ранее (?) метода для определения состава ДНК перед указанным здесь — по крайней мере в случае анализа ДНК кишечных бактерий.

Итак, как видно из табл. 2, состав ДНК не изменяется заметным образом в процессе роста культуры от 10 до 30 часов, т. е. также как и состав РНК, не обнаруживает возрастной специфичности.

То обстоятельство, что состав РНК на протяжении прослеженного периода роста не изменяется сколько-нибудь значительно, дает основание предположить, что и в течение всего роста он сохраняется в общем одним и тем же и не подвержен сильным изменениям в онтогенезе.

В то же время, как показали специальные определения, общее содержание РНК резко изменяется: от 9,6% у 10-часовой культуры до 5,7% у 20-часовой культуры и 5,3% у 30-часовой культуры (считая на абсолютно сухой вес бактериальной массы). Постоянство состава суммарной РНК при наличии столь значительных изменений ее общего содержания может иметь место, если состав всех молекул РНК в клетке, количественное соотношение нуклеотидов приблизительно одни и те же, т. е. если отсутствует внутриклеточная неоморфность (гетерогонность) молекул РНК в отношении их состава. Предположение, что в клетке имеется ряд фракций РНК различного состава, но при возрастных и связанных с этим метаболических изменениях происходит одинаковое, равномерное уменьшение или увеличение количества молекул в каждой из этих фракций, нам кажется мало вероятным, поскольку функционально разные фракции должны вести себя по-разному.

ДНК, в противоположность РНК, обнаруживает постоянство не только в отношении своего состава, но и, как показано нами, путем специальных анализов, в отношении ее количественного содержания на протяжении изученного периода роста культуры (2,4% от сухого веса бактерий). Интересно, что такое постоянство отмечено также в течение эмбриогенеза морского ежа (⁵). Видимо, ДНК — это один из наименее варьирующих в течение онтогенеза компонентов клетки.

В итоге можно сделать вывод об отсутствии по нашим данным возрастной специфичности нуклеиновых кислот у клеток кишечной палочки. Эти наши данные, наряду с данными Чаргаффа с сотр. (⁵), Редди (⁴), Стейси с сотр. (⁶), а также неопубликованными еще данными Зайцевой (лаборатория Белозерского) относительно азотобактера, заставляют нас предполагать отсутствие возрастной специфичности нуклеиновых кислот для широкого круга организмов, во всяком случае в отношении специфичности состава.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР и
Биолого-почвенный факультет Московского
государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Поступило
3 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- А. Н. Белозерский, А. С. Спирин, Усп. совр. биол., **41**, 144 (1956).
R. A. Abrams, Phosphorus Metabolism **2**, 335 (1952). D. Reddy, M. Lombardo,
L. Cerecedo, J. Biol. Chem., **198**, 267 (1952). ³ М. С. Одинцова, Рибонуклеи-
новая кислота плазмид и ее превращения в процессе развития организма, Диссертация,
Институт биохимии АН СССР, М., 1955. ⁴ К. К. Reddi, Biochim. et Biophys.
Acta, **15**, 585 (1954). ⁵ D. Elson, T. Gustafson, E. Chargaff, J. Biol.
Chem., **209**, 285 (1954). ⁶ S. K. Dutta, A. S. Jones, M. Stacey, J. Gen.
Microbiol., **14**, 160 (1956). ⁷ А. С. Спирин, А. Н. Белозерский, Биохимия,
21, № 6 (1956). ⁸ A. Marshak, H. J. Vogel, J. Biol. Chem., **189**, 597 (1951).
P. O. Gur, G. Rosen, Arch. Biochem., **25**, 262 (1950).

Д. Т. ЦОНЕВ

К ВОПРОСУ ОБ АМИНОКИСЛОТНОМ СОСТАВЕ НЕКОТОРЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ КАПУСТЫ

(Представлено академиком А. И. Опариным 3 VIII 1956)

Капуста (особенно белокочанная) занимает важное место среди овощных культур по площади и хозяйственному значению ⁽¹⁾. По содержанию азотистых веществ (в % на сухое вещество) она стоит одна из первых в ряду овощей ⁽¹⁻³⁾.

Нами было проведено исследование количественного содержания важнейших аминокислот в выделенных белковых препаратах, а также и во фракции свободных аминокислот (за исключением лизина и цистина) четырех разновидностей капусты. Для исследования были взяты следующие разновидности и сорта капусты: три образца белокочанной капусты сорта «Славяно-Московская», краснокочанная капуста сорта «Каменная голова», два образца цветной капусты сорта «Шестинедельная», два образца савойской капусты сорта «Венская ранняя» и брюссельская капуста сорта «Геркулес». Капуста была выращена в учхозе «Отрадное» Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева в 1952 г.

Азотистые вещества извлекались из капусты 0,2%-м раствором едкого натра в 70%-м этиловом спирте, а также 70%-м этиловым спиртом при растирании материала с кварцевым песком. Количество извлеченного в растворе азота из различных образцов капусты было от 95,0 до 98,7% содержащегося в них общего азота. Из полученных растворов белки осаждались последовательно серной кислотой и путем нагревания и после многократной обработки спиртом и эфиром получались в виде воздушно-сухих препаратов, содержащих смесь всех белков данного образца капусты.

Аминокислоты определялись количественно: аргинин по методу Плимера, гистидин — по методу Ханке и Кесслер (реакция Паули), лизин — по методу Кизеля, фенилаланин по методу Капеллер — Адлер, тирозин и триптофан — по методу Лягга, метионин — по методу Левайна в модификации Л. А. Горожанкиной, цистин — по методу Фолина и Маренци. При определении свободных аминокислот в некоторых случаях были сделаны изменения в методике в связи с особенностями их растворов.

Данные табл. 1 показывают, что содержание лизина почти одинаково в белках различных разновидностей капусты. Обращает на себя внимание высокое содержание гистидина в белках цветной капусты, метионина в белках краснокочанной и цистина в белках белокочанной капусты, в белках цветной и брюссельской капусты цистина, напротив, меньше всего. Белки исследованных разновидностей капусты сильно различаются по содержанию цистина (кроме практически одинаковых величин у цветной и брюссельской капуст) гистидина, метионина, фенилаланина и тирозина, и в относительно меньшей степени — по содержанию аргинина, триптофана и лизина.

В табл. 2 представлено содержание в капусте свободных аминокислот. Из нее видно, что содержание свободного аргинина во всех разновидностях капусты значительно превышает содержание остальных аминокислот. Мак-

Таблица 1

Содержание аминокислот в белках капусты (в % азота белка)

Разновидности капусты	Аргинин	Гистидин	Лизин	Фенил-аланин	Тирозин	Триптофан	Метионин	Цистин
Белокочанная	15,04	3,31	5,81	2,12	1,96	1,16	1,61	7,18
Краснокочанная	11,77	4,73	6,10	3,52	2,04	1,04	2,70	4,14
Зеленая	12,05	6,21	6,47	3,49	2,75	1,24	1,51	2,55
Савойская	12,36	3,58	5,91	2,77	2,11	1,04	1,48	5,96
Юссульская	14,80	3,24	6,13	3,13	2,04	1,31	1,76	2,58
Максимальная разница в %	27,8	91,7	11,3	66,0	40,3	26,0	82,4	181,5

Максимальное количество свободного гистидина было найдено в савойской и краснокочанной капусте. Краснокочанная капуста выделяется относительно высоким содержанием свободных метионина и фенилаланина. Наибольшие количества свободных тирозина и триптофана содержатся в савойской и юссульской капусте.

Таблица 2

Содержание свободных аминокислот в капусте (в мг %)

Разновидности капусты	Аргинин	Гистидин	Метионин	Фенил-аланин	Тирозин	Триптофан
Белокочанная	28,4	8,7	8,3	16,3	5,6	2,8
Краснокочанная	51,0	17,5	26,8	37,3	12,8	8,3
Зеленая	46,9	8,9	4,8	20,6	13,3	5,7
Савойская	52,7	17,7	14,7	26,7	21,8	13,8
Юссульская	79,2	14,0	14,3	33,8	18,9	11,2

Данные о содержании свободных аминокислот и содержащихся в белках, т.е. об общем содержании аминокислот, дают более полную характеристику аминокислотного состава капусты (табл. 3).

Таблица 3

Содержание аминокислот в капусте (азот аминокислот в % к сумме белкового и аминного азота)

Разновидности капусты	Аргинин	Гистидин	Лизин *	Фенил-аланин	Тирозин	Триптофан	Метионин	Цистин *
Белокочанная	16,84	3,95	5,81	2,42	1,69	1,08	1,69	7,18
Краснокочанная	15,25	5,42	6,10	3,90	1,92	1,23	3,02	4,14
Зеленая	15,50	6,56	6,47	3,59	2,72	1,32	1,44	2,55
Савойская	13,66	3,92	5,91	2,55	2,03	1,31	1,47	5,96
Юссульская	16,97	3,44	6,13	3,16	1,98	1,38	1,72	2,58
Максимальная разница в %	24,2	90,6	11,3	61,2	61,2	27,8	109,7	181,5

* Данные по содержанию лизина и цистина относятся только к белкам, так как свободных лизина и цистина не определялось.

Интересно, что максимальные разницы по общему содержанию отдельных аминокислот в разновидностях капусты почти те же, что и разницы по

содержанию аминокислот в белках этих капуст (см. табл. 1). Исключены составляют тирозин и метионин.

Таблица 4

Содержание аминокислот в капустях (в % на сухое вещество)

Разновидности капусты	Аргинин	Гистидин	Лизин	Цистин	Метионин	Фенил-аланин	Тирозин	Триптофан
Белокочанная	1,051	0,301	0,451	0,872	0,388	0,596	0,449	0,14
Краснокочанная	1,120	0,471	0,560	0,625	0,758	1,083	0,585	0,21
Цветная	2,03	0,960	1,25	0,812	0,667	1,783	1,478	0,41
Савойская	1,174	0,418	0,565	0,944	0,447	0,867	0,757	0,21
Брюссельская	1,775	0,428	0,910	0,626	0,616	1,237	0,860	0,31

При рассмотрении содержания аминокислот в капустях в пересчете на сухое вещество (табл. 4) видно, что цветная капуста по содержанию аргинина, гистидина, лизина, фенилаланина, тирозина и триптофана превосходит все остальные капусты, а по метионину уступает только краснокочанной капусте. Этот факт стоит в связи с высоким содержанием белкового азота в сухом веществе цветной капусты — от 3,59 до 3,82%, в то время как в с

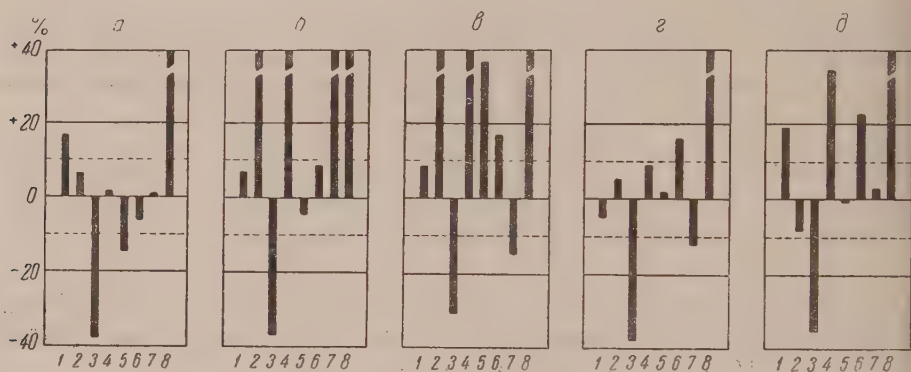


Рис. 1. Аминограммы некоторых разновидностей капусты: а — белокочанная, б — краснокочанная, в — цветная, г — савойская, д — брюссельская; 1 — аргинин, 2 — гистидин, 3 — лизин, 4 — фенилаланин, 5 — тирозин, 6 — триптофан, 7 — метионин, 8 — цистин

вом веществе брюссельской капусты содержалось 2,58%, а в остальных капустях — меньше 2% белкового азота. Кроме того, сумма белкового и аминокислотного азота у цветной капусты составляет 88,35—88,83% общего азота, у белокочанной капусты эта величина 76,41%, а у остальных разновидностей еще ниже. Следовательно, в цветной капусте содержится наибольшее количество азота, входящего в состав аминокислот. Это повышенное содержание белкового азота и свободных аминокислот, по-видимому, надо объяснить тем, что головка цветной капусты представляет недоразвившееся мясистое соцветие или утолщенные мясистые цветоносы, в которых происходит накопление запасных веществ (13).

Для оценки питательной ценности капуст мы сравнили их аминокислотный состав (см. табл. 3) с аминокислотным составом мяса, обладающего весьма высокой питательной ценностью для человека и составили аминокислотную норму по способу А. З. Шарпенака (14) (рис. 1).

Аминограмма белокочанной капусты показывает небольшой недостаток тирозина, некоторый избыток аргинина и большой — цистина. В краснокочанной

ной капусте содержится в большом избытке гистидин, фенилаланин, метионин и цистин. В цветной капусте большой избыток гистидина, фенилаланина, тирозина и цистина. Триптсфан находится в небольшом избытке, а метионин — в недостатке. В савойской капусте имеется большой избыток цистина и небольшой — триптсфана. Брюссельская капуста содержит избыток аргинина, фенилаланина и триптсфана. Лизин во всех случаях находится в недостатке. Для решения вопроса о содержании лизина в капусте необходимо определить количество свободного лизина. Избыток цистина у цветной и брюссельской капуст в 3,5—4,5 раза меньше, чем у других капуст. Это обстоятельство повышает диетическую ценность цветной и брюссельской капуст.

Таким образом, по содержанию исследованных аминокислот капусты не имеют серьезных недостатков. Более благоприятен аминокислотный состав цветной и брюссельской капуст, а затем краснокочанной капусты, для которых характерно относительно меньшее содержание цистина и значительный избыток некоторых незаменимых аминокислот.

Настоящая работа проводилась в Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева под руководством проф. Н. В. Сабурова, которому выражаю глубокую благодарность.

Высший сельскохозяйственный институт
им. Георгия Димитрова
г. София, Болгария

Поступило
31 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ф. В. Церевитинов, Химия свежих плодов и овощей, изд. 2, 1933.
² А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, М. И. Смирнова-Иконникова, И. К. Мурри, Методы биохимического исследования растений, 1952 г.
³ Н. В. Сабуров, Л. В. Коперина, Реф. докл. ТСХА, в. 13 (1951).

В. К. ГОЛУБЦОВ

К ВОПРОСУ О НИЖНЕЙ ГРАНИЦЕ И ОБЪЕМЕ ТУЛЬСКОГО ГОРИЗОНТА НИЖНЕГО КАРБОНА В ПРИПЯТЬСКОМ ПРОГИБЕ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 26 VI 1956)

Отложения тульского горизонта нижнего карбона выявлены в Припятском прогибе сравнительно недавно в результате обработки материалов глубокого бурения и изучения микрофауны (фораминиферы и остракоды), проведенных автором настоящего сообщения. С первых же шагов работы встал вопрос о нижней границе тульского горизонта.

Некоторые авторы (^{1, 2, 10}) проводили границу сталиногорского и тульского горизонтов по подошве первого известняка (известняк А° М. А. Болховитиновой), относя при этом к тульскому горизонту также ту или иную часть песков, лежащих непосредственно под этим известняком. Другие (⁶) проводили эту границу по кровле известняка А°, считая его самым верхним членом сталиногорского горизонта.

В 1954 г. Р. Б. Самойлова, Р. Ф. Смирнова и Е. В. Фомина (⁸) на основании комплексного изучения микрофауны (фораминиферы и остракоды) Выходского района Смоленской области пришли к заключению, что известняк А° следует относить к тульскому горизонту. Отложения тульского горизонта авторы, подобно М. А. Болховитиновой, расчленили на верхнюю и нижнюю части. Нижнюю границу тульского горизонта авторы проводят в основании базальных песков, залегающих под карбонатным комплексом А°.

Автор (^{3, 4}) проводил границу тульского и сталиногорского горизонтов в Припятском прогибе по подошве первого известняка ввиду большого сходства фауны фораминифер этого известняка с аналогичной фауной вышележащих типично тульских известняков. При этом было установлено, что такие виды, как *Ammodiscus priscus* Rauser и *Monotaxis exilis* Viss., отмеченные Д. М. Раузер-Черноусовой как характерные только для сталиногорского горизонта, встречаются в Припятском прогибе и в более высоких горизонтах визейского яруса. *Monotaxis exilis* Viss. входит в число характерных видов михайловского горизонта Припятского прогиба, а по данным Г. Г. Шлыковой (¹¹) — и западного крыла Подмосковной котловины. *Ammodiscus priscus* Raus. отмечен автором в Припятском прогибе (³), а Л. Ф. Ростовцевой (⁹) — в Днепровско-Донецкой впадине в тульском горизонте. Квазиэндоиты в первом прослое визейского известняка в Припятском прогибе не были встречены, но в основании алексинского горизонта были обнаружены довольно многочисленные *Quassiendothyra* ex gr. *miranda* Raus. Все эти данные убедительно свидетельствуют о принадлежности первого прослоя известняка к тульскому горизонту.

Новые данные, полученные в результате более детального изучения разрезов сталиногорского и тульского горизонтов Припятского прогиба, а также находка богатой морской фауны в глинах, залегающих под первым визейским известняком, заставляет еще раз пересмотреть вопрос о границе этих горизонтов и несколько уточнить стратиграфию и объем тульского горизонта.

К отложениям сталиногорского горизонта автор относит сильно каоли-

низированной, некарбонатной, пестроцветной, песчано-глинистую толщу, включающую прослой бурых углей, углистых глин и темных глин с обуглившимися растительными остатками. Фауна в этих отложениях не обнаружена. Возраст рассматриваемой толщи определяется на основании ее залегания в разрезе между тульским горизонтом визейского яруса и верхним турне (аналог агеевской толщи Подмосквы).

Контакт сталиногорского и тульского горизонтов характеризуется резко выраженным несогласием — в основании тульского горизонта залегает довольно мощный кварцитовый конгломерат или галечник, состоящий из крупных галек розоватого овручского кварцита. Местами, в наиболее погруженных участках Ельской депрессии, на контакте этих двух горизонтов залегает конгломератовидная порода, включающая большое количество глинистой гальки, грубозернистого песка и раздробленных, обуглившихся растительных остатков (стигмариий?).

Отложения тульского горизонта по литологическому составу и фауне отчетливо расчленяются на две части: нижнюю — глинистую с прослоями песка и верхнюю — глинисто-известняковую.

Нижняя часть тульского горизонта (C_{1e}^{2ie}) представлена в основном глинами темно-серыми (до черных), плотными, иногда аргиллитоподобными, некарбонатными, с прослоями и линзами песка кварцевого, светло-серого или бурого, мелкозернистого, иногда слабо карбонатного. В глинах встречаются также прослой угля, а местами прослой сапропелита. По своему разрезу толщи встречаются многочисленные обуглившиеся растительные остатки и мелкие конкреции пирита. В верхней части разреза описываемой толщи залегают карбонатные глины, включающие богатую фауну форминифер, брахиопод и остракод. Представители последней группы особенно многочисленны. Отсюда автором в районе Словецно были определены следующие виды:

Gravia (Selebratina) *Zaninae* sp. nov., *Jonesina* cf. *bivesiculosa* Posn., *Knoxiella* *posneri* Egor., *Schrobicula* *scrobiculata* (Jones, Kirkby et Brady), *S. erisiformis* Zan., *Kirkbya* *minuta* Zan., *K. ex gr. bilobata* Posn., *Amphisites* *tricollinus* (Janes et Kirkby), *A. verrucosus* Zan., *A. mosquensis* Posn., *A. mikhailovi* Posn., *A. urei* (Jones), *A. helenae* Posn., *Kelletina* *legibilis* Zan., *Healdianella* *darwinuloides* Posn., *Bairdia* ex gr. *jonesi* Posn. и др.

Фораминиферы встречены в меньшем количестве. Они относительно бедны по своему родовому составу и представлены следующими формами (определение производилось по внешнему виду, на экземплярах, выделенных из породы): *Hyperammina* sp., *Ammodiscus* *priscus* Raus., *Endothyra* sp., *Monotaxis* sp. (M. ex gr. *exilis* Viss.), *Tetrataxis* sp., *Archaediscus* sp. (мелкие экземпляры, по видимому, A. ex gr. *karreri* Braby). В приведенном комплексе микрофауны содержатся формы, характерные по данным различных авторов (⁵⁻⁸) как для тульского, так и для сталиногорского горизонтов. В комплексе остракод, наряду с типично тульскими формами. (*Amphisites* *helenae* Posn. и др.) содержатся виды, характерные (?) для сталиногорского горизонта — *Amphisites* *tricollinus* (Jones et Kirkby), *A. verrucosus* Zan., и *Scrobicula* *erisiformis* Zan. Однако, как показали исследования Р. Б. Самойловой и Р. Ф. Смирновой (⁸), эти виды встречаются и в более высоких горизонтах. Так, *A. tricollinus*, по их данным, является характерным видом для нижней части тульского горизонта Восточного и Спас-Деменского районов Смоленской области. Эти факты, а также преобладание в комплексе остракод видов, характерных для тульского горизонта, позволяют определять возраст отложений, вмещающих указанный выше комплекс микрофауны, как нижняя часть тульского горизонта. Этому выводу не противоречит и обнаруженный комплекс фораминифер, так как и в нем присутствуют формы, встречающиеся в тульском и в более высоких горизонтах.

Кроме того следует подчеркнуть, что по литологическому составу рассматриваемые отложения нижней части тульского горизонта весьма близки

отложениям верхней части этого горизонта и практически трудно провести границу между ними. Эта граница условно проводится по подошве первого известняка, на основании исчезновения в комплексе остракод верхней части горизонта *Amphissites tricollinus* (Jones et Kirkby) и других видов.

Верхняя часть тульского горизонта (C_1^{2+12}) представлена глинами темно-серыми, в той или иной степени карбонатными, плотными, от жирных до слабобесчанистых, местами слюдистых, иногда уплотненных и тонко-слоистых, с многочисленными обуглившимися растительными остатками. В глинах встречаются тонкие прослои известняков серых и темно-серых, репких, часто глинистых, с включениями фауны фораминифер, брахиопод и остракод. Комплекс микрофауны (фораминиферы и остракоды), определенной автором из прослоев известняков и глин рассматриваемых отложений Припятского прогиба, отвечает таковому тульского горизонта Подмосквой котловины и зон $C_1^v d$ — $C_1^v e$ Днепровско-Донецкой впадины (³, ⁴). С другой стороны, состав микрофауны верхней части тульского горизонта Припятского прогиба заметно отличается от состава микрофауны нижней части этого горизонта, что позволяет отделять их друг от друга.

Таким образом, детальное изучение литологии и микрофауны нижневизейских отложений Припятского прогиба позволяет сделать следующие выводы.

1. Контакт сталиногорского и тульского горизонтов в Припятском прогибе отмечен резко выраженным несогласием, благодаря чему он легко устанавливается.

2. Нижнюю границу тульского горизонта следует проводить не по подошве первого известняка, а значительно ниже, в основании базального конгломерата или галечника.

3. Отложения тульского горизонта Припятского прогиба на основании литологических особенностей пород и смены фауны расчленяются на две части: нижнюю — глинистую и верхнюю — глинисто-известняковую.

Поступило
26 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. М. Бирина, Тр. ВИМС, в. 168 (1941). ² М. А. Болховитинова, Новые данные по стратиграфии юго-восточной части 58-го листа общей геологической карты, М., 1932. ³ В. К. Голубцов, Изв. АН БССР, 2, 127 (1954). ⁴ В. К. Голубов, ДАН, 97, № 1 (1954). ⁵ В. М. Познер, Тр. ВНИГРИ, в. 56 (1951). Д. М. Раузер-Черноусов, и др. Тр. ИГН АН СССР, геол. сер., в. 62 (1948). Решения Всесоюзного совещания по выработке унифицированной схемы стратиграфии каменноугольных отложений Русской платформы и Западного склона Урала, 1951. Р. Б. Самойлов, Р. Ф. Смирнова, Е. В. Фомина, ДАН, 96, № 2 (1954). ⁹ С. В. Семихатова, Л. Ф. Ростовцева, В. А. Назарова, ДАН, 92, № 1 (1953). ¹⁰ М. С. Швецов, Тр. МГРИ, 12 (1938). ¹¹ Т. И. Шлыкова, Тр. ВНИГРИ, в. 56 (1951).

Г. А. ДМИТРИЕВ

О СИММЕТРИИ КЛИВАЖА В КАМЕННЫХ УГЛЯХ ИНТЫ

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 6 VI 1956)

Под кливажем мы понимаем систему параллельных трещин, рассекающих уголь. В интинских углях проявляются 2—3 системы кливажных трещин, в большинстве случаев почти перпендикулярные к плоскости наложения. Угли Интинского месторождения по степени углефикации стоят на грани бурых и каменных ⁽¹⁾. Обычно их относят к марке Д.

Интинские угли являются линзовидно-полосчатыми. Ширина линз витрена в нормальном к слоистости сечении составляет обычно несколько миллиметров, но нередко достигает сантиметра и более. Чередование линз витрена, кларена, дюрена и фюзена дает возможность проследить поведение кливажных трещин при переходе их из одного ингредиента угля в другой. Наиболее интенсивно кливаж проявляется в блестящих разностях угля. В витрене, например, под микроскопом видно, что расстояние между соседними трещинами измеряется иногда десятими долями миллиметра.

В шахтах Инты разрабатывается более 10 угольных пластов, а угольных пропластков насчитывается более 100 ⁽¹⁾. В породах междупластий, порезаемых квершлагами, встречаются витренизированные листья кордаитов и стебли паракаламитов, также разбитые трещинами кливажа. Приводимые ниже данные наблюдений и выводы относятся к кливажу всей угленосной части интинской свиты, мощность которой достигает 450 м.

Г. А. Иванов ⁽²⁾ выделил два типа кливажа: эндокливаж и экзокливаж. Происхождение первого, по его мнению, обусловлено внутренними (по отношению к пласту), а второго — внешними силами. Желание объяснить конкретные факторы образования эндокливажа привело Г. А. Иванова к созданию теории происхождения эндокливажа до складчатости в итоге уменьшения объема вещества угля (стяжения) в процессе углефикации.

Многие исследователи основную причину образования кливажа видят только во внешних тектонических силах ⁽⁴⁾. Но и при объяснении происхождения кливажа действием внешних сил, возникающих при тектонических процессах, многие вопросы остаются нерешенными или решенными условно, что особенно ясно теперь, когда показано, что во многих случаях объяснения механизма тектонических явлений не выдерживают критики с точки зрения механики ⁽⁵⁾.

В настоящей статье нам хочется обратить внимание на некоторые геометрические закономерности в расположении трещин эндокливажа, которые наблюдаются в интинских углях и которые могут представлять интерес для решения вопроса о происхождении кливажа в углях. Результаты наши наблюдений согласуются с материалами, давно полученными Г. А. Ивановым ^(2, 3) по эндогенному кливажу в Донбассе и Кузбассе. Однако интерпретация этих наблюдений в кристаллографическом аспекте приводит к выводам, в некоторой части существенно отличающимся от сделанных ранее.

1. В отдельных растительных остатках, расположенных параллельно плоскостям наложения в угольном пропластке, пласте, в серии угольных

пластов кливаж имеет в определенных пределах однообразную ориентировку в пространстве. Обыкновенно этот факт рассматривается как доказательство того, что кливаж вызывается внешними, общими тектоническими силами, захватывающими всю толщу углей и пород. При этом не учитывается, что однообразная ориентировка внешних сил может вызвать однообразную ориентировку кливажа только тогда, когда угольное вещество изотропно или анизотропно, но его внутренняя структура имеет одинаковую ориентировку. Поэтому для угольного вещества интинских углей одинаковая ориентировка кливажа в угольном веществе фитолейм, пропластков и пластов говорит не только о том, что процесс образования кливажа был единым для всей толщи, но также и о существовании симметрии подгруппы переносов внутренней структуры угольного вещества, если оно анизотропно.

II. Обыкновенно наблюдаются три системы хорошо выраженных кливажных трещин. Все они в общем перпендикулярны к поверхности наслонения и поэтому имеют общее ребро пересечения. Ориентировка кливажа, перпендикулярная к слоистости вне зависимости от залегания пластов, говорит о том, что слоистая структура пород и углей является одним из определяющих условий ориентировки кливажа. Вместе с тем, каждая из кливажных плоскостей, имеющих общее ребро пересечения, может рассматриваться как некоторая возможная грань внутренней структуры анизотропного угля.

III. В прозрачных шлифах в поляризованном свете видно, что угольное вещество интинских углей хорошо поляризует. Наиболее часто наблюдается погасание прямое по отношению к слоистости. Это значит, что анизотропия угольной массы определяется внутренним строением вещества угля, чем-то близким к кристаллическому, а симметрия кливажа вызывается, повидимому, определенной внутренней структурой угольного вещества, часто симметричной по отношению к плоскости слоистости.

IV. Направление одной системы трещин кливажа близко к направлению падения угольных пластов и пропластков. Трещины этой системы характеризуются особой скульптурой поверхности, носящей название глазковой (немецкие Augen).

В отдельных витренизированных фитолеймах замечено, что глазковая поверхность трещин наиболее четко проявляется там, где они близки к поперечным сечениям продольной оси растительного остатка (например, корданта или ствола паракаламита).

Особенно интересны закономерности ориентировки глазковых поверхностей трещин в угольных трубках (английские coal pipes) и «гробовых крышках» (немецкие Sargdeckeln), являющихся витренизированными остатками прикорневых частей стволов деревьев. Они иногда встречаются в кровле пластов и расположены перпендикулярно к напластованию (прижизненная ориентировка).

В этих образованиях глазковые поверхности трещин ориентированы почти поперек угольных трубок, т. е. почти параллельно слоистости, что говорит скорее всего о решающем значении ориентировки структуры волокон растительной целлюлозы в процессе образования и ориентировке глазковых трещин. Это можно сформулировать следующим образом: первичная продольная ориентировка волокон целлюлозы в растительных остатках влияет на интенсивность проявления кливажа с глазковой структурой поверхности трещин. Глазковая скульптура наиболее отчетлива там, где направление кливажа близко к поперечному сечению оси растительного остатка (листа, ствола и т. п.).

V. Простирание трещин кливажа с глазковой поверхностью близко к направлению падения слоев, или, иными словами, перпендикулярно к простиранию осей складок. Направление межпластовых подвижек, фиксируемое штрихами и бороздами скольжения на межпластовых зеркалах скольжения, совпадает с простиранием глазковых трещин. Поэтому кливаж с глазковой поверхностью трещин, являясь результатом растяжения,

образован растягивающими усилиями, возникающими в направлении, перпендикулярном к сжимающим усилиям, создающим складчатость.

Механизм образования трещин отрыва при сжатии воспроизведен экспериментально^(6, 7). При этом установлено, что возникающие трещины отрыва параллельны оси сжатия и перпендикулярны оси поперечного удлинения в слоях компетентных пород. В нашем случае уголь является довольно хрупким по сравнению с вмещающими глинистыми породами.

Общий вывод. Растения строят свой организм из вытянутых волокон целлюлозы, в которых молекулы расположены длинными цепочками. После отмирания остатки растений под действием силы тяжести падают, располагаясь длинными осями волокон более или менее параллельно поверхности наслоения. В процессе диагенеза под тяжестью вышележащих отложений в ходе уплотнения ориентировка еще более приближается к параллельной. В дальнейшем физико-химические преобразования, носящие название углефикации, под направляющим действием тектонических сил приближают внутреннюю структуру угольного вещества к кристаллической с определенной ориентировкой по отношению к тектоническим структурам.

Рентгенометрическое изучение бурого и каменного угля и антрацита⁽⁸⁻¹¹⁾ довольно убедительно подтверждает все сказанное. Рентгенограммы углей ряда бурый уголь — антрацит показывают возрастающее количество и размер кристаллитов свободного углерода графитовой структуры.

Весьма вероятно поэтому, что кристаллическая структура вещества угля, созданная действием гравитационной силы и усилиями метаморфизма и складкообразования, должна чем-то приближаться к слоистой структуре, аналогичной структуре слюд. Кливаж в этом случае можно рассматривать как аналог трещин давления и удара, которые, как и на пластинке слюды, закономерно ориентированы по отношению к элементам симметрии внутренней структуры угля.

Таким образом, различные геометрические закономерности расположения трещин кливажа согласно указывают на наличие внутренней структуры угольного вещества, которая, повидимому, является определяющим условием в процессе их образования. Поэтому объяснение того или иного характера кливажа надо искать не только в различной ориентировке воображаемого эллипсоида напряжения, но и в особенностях внутреннего строения вещества горной породы, в частности, в симметрии расположения слагающих ее частиц.

Причина происхождения кливажа и детали процесса его развития еще полностью не выявлены, но расположение кливажных трещин в пространстве обладает четкой геометрической симметрией. Вполне естественно, что кливажные трещины, облегчая расщепление, должны использоваться при отбойке угля, их ориентировка должна учитываться при выборе направления очистного забоя и т. д.⁽³⁾. Однако, если при ручном труде и малых скоростях продвижения забоев влияние использования кливажа на производительность труда забойщика было явным, то в настоящее время явление кливажа учитывается редко, так как применение машин, взрывчатых веществ, сжатого воздуха, электрической энергии и т. п. скрывает различия в успехе производства работ, зависящие от использования кливажа.

Поступило
30 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ² А. П. Ротай, Тр. ИГН АН СССР, сер. 2, в. 90 (1947). ² Г. А. Иванов, Тр. ЦНИГРИ, ч. 1, в. 110 (1939). ³ Г. А. Иванов, Л. И. Сарбеева, Тр. ЦНИГРИ, ч. 2, в. 127 (1940). ⁴ М. А. Усов, Структурная геология, 1940. ⁵ Г. И. Гуревич, Тр. Геофиз. инст., № 34 (1955). ⁶ А. Е. Михайлов, Полевые методы изучения трещин в горных породах, 1956. ⁷ H. Ramberg, J. of Geol., 63, № 6 (1955). ⁸ А. К. Болдырев, Г. А. Ковалев, Зап. ЛГИ, 10, в. 2 (1937). ⁹ А. С. Кумпан, Зап. Всес. Минер. Общ., 4, 27, № 4 (1948). ¹⁰ С. Mahadevan, Fuel, № 10 (1929); № 12 (1930). ¹¹ С. Mahadevan, Proc. Bangalore, Sect. A, 24, № 2 (1946).

А. Д. КАЛЕНОВ

О ДОПЕГМАТИТОВЫХ ГРЕЙЗЕНАХ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 21 V 1956)

Большинство исследователей, занимавшихся изучением грейзенов, отмечает, что они образовались после затвердевания материнского гранитного интрузива и его дериватов, в том числе и пегматитов. Вместе с тем за последние годы при проведении детальных петрографических и минералогических исследований в районах развития грейзенов были получены доказательства многоэтапности грейзенообразования.

Так, Г. Шроке⁽¹⁾, обстоятельно изучивший классический район развития грейзенов в Рудных Горах, отмечает наличие в Эренфридесдорфе и Адисдорфе допегматитовых первичных пневматолитов, представляющих собой кварцевые тела с грейзеновыми зальбандами — цвиттерами. По составу цвиттера, — это те же кварцево-слюдисто-топазовые касситеритовые грейзены, что и послепегматитовые грейзены. В то же время, по данным Г. Шроке, они образовались значительно ранее пегматитов и не имеют ничего общего с еще более ранней фазой автопневматолита, отделяясь с последней этапом внедрения аплитов.

При изучении грейзенов Северо-Восточной части Центральной Азии автор столкнулся с широким развитием допегматитовых грейзенов в пределах Хара-Яматинской гранитной интрузии, расположенной в среднем течении реки Керулен. Последовательность кристаллизации интрузии и послемагматических образований в этом районе такова: порфировидный крупнозернистый гранит, мелкозернистый гранит, гранитпорфир и аплит, грейзен I, пегматиты, грейзен II, гидротермальные кварцевые жилы.

Приведенная последовательность подтверждается нижеследующими геологическими наблюдениями.

Мелкозернистые граниты залегают среди порфировидных гранитов в виде неправильных тел и не имеют резких границ с порфировидными гранитами. Наличие постепенных переходов между ними и близость химического состава указывают на то, что мелкозернистые граниты представляют лишь фациальную разновидность крупнозернистых гранитов. Гранитпорфиры и аплиты в виде маломощных жил (мощностью 0,1—0,5 м) пересекают граниты. Они не имеют в зальбандах закаленных краевых зон, что свидетельствует о близости условий их кристаллизации с условиями кристаллизации вмещающих гранитов.

Грейзены I развиваются преимущественно в мелкозернистых гранитах контакта их с крупнозернистыми гранитами. Пегматиты широко распространены и развиты главным образом в крупнозернистых порфировидных гранитах, встречаясь, однако, и в мелкозернистых гранитах.

Пегматиты — зональные, очень простого состава. Внешняя зона их представлена крупноблоковым пегматитом, состоящим из гигантских кри-

таллов калиевого полевого шпата и кварца. Средняя часть пегматитовых тел сложена белым монолитным гигантокристаллическим кварцем.

Особенностью описываемых пегматитовых тел является весьма интенсивное развитие кварцевого ядра. Так, для многих пегматитовых тел мощность кварцевого «сердечника» в десятки раз превышает мощность внешней микроклиновой зоны. В ряде пегматитовых тел последняя прослеживается с большими перерывами, поэтому во многих случаях на поверхности обнажаются лишь мощные кварцевые ядра, дающие апофизы во вмещающие граниты.

Детальное изучение взаимоотношений пегматитовых тел с грейзенами I и II показывают, что апофизы пегматитовых жил пересекают грейзен I и в свою очередь пересекаются жилами грейзена II. Таким образом, пегматиты разделяют во времени этапы образования грейзенов I и II.

Минералогический состав и структура грейзенов I и II этапов имеют существенные различия. Допегматитовые грейзены представляют собой мелкозернистую породу, в составе которой преобладают мелкощучейчатый мусковит, полевые шпаты и, в частности, альбит. Кварц имеет подчиненное

Таблица 1

Химический состав типичных представителей грейзена I и грейзена II Хара-Яматинской интрузии (вес. %)

Компоненты	Грейзен I	Грейзен II	Компоненты	Грейзен I	Грейзен II
SiO ₂	66,20	55,70	K ₂ O	5,50	7,79
TiO ₂	0,02	0,49	Na ₂ O	0,70	2,67
Al ₂ O ₃	21,36	25,84	P ₂ O ₅	0,02	0,03
Fe ₂ O ₃	1,70	1,88	F	0,11	0,10
FeO	1,60	1,52	Cl	—	—
CaO	0,65	0,40	H ₂ O ⁺	0,90	0,28
MgO	1,00	0,60	H ₂ O ⁻	1,50	0,80
MnO	0,19	0,11	п/пр	—	1,70
			Сумма	100,43	99,83
			Поправка на F	—0,25	—0,10
			Сумма	100,18	99,73

значение. Нередко встречаются флюорит и в небольшом количестве рудные минералы. Грейзены этого этапа по составу правильнее всего называть альбит-мусковитовыми.

Послепегматитовые грейзены более крупнозернистые и характеризуются преобладанием в составе породы кварца и мусковита. Так же как и в грейзенах I, в грейзенах II широкое распространение имеет флюорит. Рудные минералы в грейзенах II более широко распространены и более разнообразно представлены, чем в грейзенах I, причем среди них преобладают такие, которые полностью отсутствуют в допегматитовых грейзенах.

Сравнивая химический состав типичных представителей грейзенов I и грейзенов II из описываемого района (табл. 1), нетрудно заметить, что грейзены I отличаются от грейзенов II более низким содержанием SiO₂ и более высоким содержанием глинозема и щелочей, особенно Na₂O, а также TiO₂.

Не исключено, что в других районах признаки сходства и различия в составе, текстуре и других особенностях допегматитовых и послепегматитовых грейзенов будут и менее существенными, чем в описываемом

лучае. Важно, что явление концентрации газов, растворов и минерализаций и образования типичных грейзенов могут происходить и до кристаллизации пегматитов, что нельзя не учитывать при детальном геологическом исследовании и постановке поисковых работ.

В заключение необходимо подчеркнуть, что образование допегматитовых грейзенов нельзя смешивать с явлениями мусковитизаций гранитов и другими проявлениями автопневматолита, которые захватывают большие объемы гранитных пород в куполах интрузивов, в то время как допегматитовые грейзены представляют собой локальные образования, тесно связанные с определенными системами трещин в гранитах.

Научно-исследовательский институт
редких и малых металлов

Поступило
14 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Schröke, *Neus Jahrb. Miner., Abh.* 87, 33—109 (1954).

Н. Н. КАРЛОВ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВУЛКАНИЧЕСКОМ ПЕПЛЕ
г. ДНЕПРОПЕТРОВСКА В СВЯЗИ С ВОПРОСОМ О ГЕНЕЗИСЕ
ЛЕССА

(Представлено академиком В. А. Обручевым 10 VI 1956)

Впервые рыхлый вулканический пепел в Днепропетровске был открыт Л. О. Станкевичем в 1936 г. Вулканический пепел залегает в лессовой толще правого коренного берега Днепра, обнажаясь в овраге Песочном между Мандрыковской и поселком Переможным, близ южного (Лоцманского) вокзала в виде тонкого, мощностью до 20 см, линзовидного прослоя на глубине 9—10,5 м от поверхности земли. Условия залегания и петрографические особенности пепла в этом обнажении описаны в 1937 г. П. К. Замориным⁽¹⁾.

Второе весьма интересное местонахождение рыхлого пемзового вулканического пепла в Днепропетровске было обнаружено автором в 1945 г. во время геологической экскурсии в Красноповстанческую балку (южная часть Днепропетровска). Пепел встречен здесь в искусственном останце (целике) на территории кирпичного завода Минмашстроя, возле Гофманской печи № 2. Он образует линзовидный прослой мощностью до 30 см в толще типичного верхнего неслоистого светло-палевого лесса на глубине около 8 м, считая от бровки заводского карьера. Наконец, еще два новых выхода рыхлого вулканического пепла в Днепропетровске было обнаружено мною в той же Красноповстанческой балке при ее совместном посещении с А. И. Москвитиным, Д. М. Коненковым, А. А. Кравченко, Д. П. Кузьменко и Н. Г. Николаевым осенью 1953 г.

Один из этих выходов был в то время хорошо расчищен экскаватором в левом склоне балки близ южной границы территории кирпичного завода № 17. Вулканический пепел образует в этом месте довольно мощный (до 50 см) прослой на глубине около 6 м от бровки склона в толще типичного верхнего (бугского) неслоистого палевого лесса, в 3 м выше кровли первой погребенной каштановой почвы верхневолжского интерстадиала; он прослеживается на значительном (более 50 м) протяжении по склону балки в проходящем здесь небольшом овражке.

Второй новый выход вулканического пепла обнаружен нами в противоположном (правом) склоне Красноповстанческой балки, близ южной границы заводской территории, где лессовая толща также хорошо обнажена экскаваторными работами. Пепловый прослой тут имеет незначительную мощность (до 10 см) и залегает на глубине около 3,5 м, также в толще типичного верхнего неслоистого палевого лесса, метрах в четырех выше кровли первого горизонта погребенной почвы каштанового типа.

Таким образом, в обоих последних случаях возраст вулканического пепла является очень молодым и время его выпадения необходимо датировать поздним плейстоценом (вюрмом), точнее — главной фазой предпоследнего, калининского оледенения⁽²⁾. Учитывая большую мощность верхнего (бугского) яруса лесса в Днепропетровске, достигающую на плато 12—14 м, можно предполагать, что и другие находки вулканического пепла, сделанные на глубине до 10 м, имеют такой же калининский, но не микулинский (рис-

ормский) возраст ⁽⁴⁾, поскольку в обоих вновь открытых местонахождениях пепла последний залегает значительно выше погребенного чернозема кулинского века ⁽⁶⁾.

Во всяком случае, обнаружение рыхлого пемзового вулканического пепла в типичном верхнем неслоистом первичном лессе Днепропетровска представляет интерес для правильного решения лессовой проблемы.

Вулканический пепел во всех указанных выше обнажениях обладает одинаковыми свойствами: он представляет весьма рыхлую и мягкую почти диагенезированную пирокластическую горную породу, легко осыпаясь от прикосновения, пылящую на ветру и при растирании между пальцами превращающуюся в тончайший слегка шероховатый порошок.

На первый взгляд пепел очень сходен с лессом, вследствие чего легко рассматривается в обнажениях, однако это сходство чисто внешнее и ограничивается белесопалевым цветом и мелкоземистостью, — во всем же остальном он представляет глубокие, принципиальные отличия от лесса. Эти отличия выражаются, прежде всего, в полной неразмокаемости пепла, который не только не рассыпается при погружении в воду, но, наоборот, твердеет со временем и превращается в связную породу, вследствие его гидравлической активности. Второе отличие заключается в том, что пепел совершенно не реагирует с HCl, в то время как лесс всегда бурно вскипает с кислотами. Третьим отличием является отсутствие у пепла пластических свойств: верхняя граница текучести равна 70—71, нижняя граница пластичности 69—70, а число пластичности 1; при этом максимальная влагоемкость составляет 35—40%, а гигроскопическая влажность всего 0,15—0,16%.

Дальнейшими существенными отличиями пепла являются его гораздо меньшая, чем у лесса, плотность и большая пористость: объемный вес образцов с ненарушенной структурой колеблется от 0,741 до 0,903 (вследствие его парафинированные образцы пепла не тонут в воде); объемный вес с нарушенной структурой 0,503—0,548; удельный вес 2,14—2,44; вычисленная пористость 58—63,5%. При этом следует отметить, что макропористость днепропетровском пепле выражена очень слабо, что также является существенным отличием его от лесса. При испытании в одометре пепел не обнаружил просадочных свойств, в то время как выше- и нижележащий лесс оказался просадочным ($i > 0,02$).

По гранулометрическому составу днепропетровский пепел в общем сходен с лессом, являясь типичным алевритом, но частицы его лучше отсортированы по гидравлической крупности (фракция 0,05—0,01 мм составляет около 86%), что объясняется однородностью пирокластического материала; кроме того, содержание фракций мелкой пыли (0,01—0,005 мм) в пеплах незначительно — от 3 до 7%, а фракции «глины» ($< 0,005$ мм) совершенно ничтожно — не более 3%.

Контрольное определение размеров зерен пепла окулярным микрометром показало, что средний размер их равен 0,06—0,10 мм, а наибольший — 0,26 мм; расхождение этих данных с результатами механического анализа объясняется пластинчатой формой осколочков очень пористого пемзового стекла, из которых пепел в основном и состоит. Большинство этих осколочков представляет весьма тонкие бесцветные и водяно-прозрачные остроугольные пластинки с криволинейным изломом, и только некоторая часть зерен обладает тонкоиглообразной и волокнисто-шестоватой формой (рис. 1), причем волокнистое стекло слегка окрашено в светлый буровато-желтый цвет.

Показатель преломления стекла в среднем равен 1,513, уменьшаясь в наиболее чистых и прозрачных зернах до 1,508 и увеличиваясь в слегка окрашенных до 1,525. Учитывая низкий удельный вес пепла (2,14—2,44), следует отнести его к кислым липаритовым и отчасти к липарито-дацитовым лавам, что подтверждается и содержанием в нем кремнезема (57—60%). Стекло в пепле очень свежее, неразложившееся; такую же свежесть обнаруживают и содержащиеся в нем зерна полевых шпатов (главным образом, ортоклаза и изредка микроклина). Свежесть этих минералов, наряду

с присутствием зерен апатита и некоторых воднонеустойчивых пироксенов и амфиболов, при ничтожном (до 3%) содержании глинистых продуктов выветривания, — свидетельствует о том, что днепропетровский пепел после его выпадения из атмосферы не подвергался сколько-нибудь значительным диагенетическим изменениям в результате выветривания и почвообразования.

Между тем, широко распространенная среди почвоведов и географов деловиальная, или почвенная гипотеза происхождения лесса Л. С. Берга⁽²⁾ допускает ведущую роль мощных глубокопочвенных процессов, приво-



Рис. 1

дящих к превращению в лесс любых местных мелкозернистых пород в результате их «облессования». Совершенно очевидно, что если бы такого рода глубокопочвенный процесс «облессования» имел место в природе, то вулканический пепел неизбежно приобрел бы все свойства лесса, чего в действительности нет.

Наличие в типичном лессе прослоев недиагenezированного вулканического пепла находится в явном противоречии с гипотезой «пустынного диагенеза»^(3, 8), поскольку пепел не имеет никаких признаков «пустынного диагенеза», даже не вскипая с HCl, не говоря уже об агрегатной структуре, совершенно несвойственной днепропетровскому пеплу.

Свежесть стекла и полевых шпатов, рыхлость пепла и его способность твердеть и цементироваться под водой вследствие большого гидравлической

активности с полной определенностью говорят против гипотезы аквального генезиса первичного структурного лесса, так как если бы он был отложен водой и подвергался длительному увлажнению в условиях гумидного климата, содержащийся в нем вулканический пепел вследствие цементации частиц аморфным кремнеземом неизбежно превратился бы в твердый диагenezированный туф или туффит, подобный современным туфам вулканических областей с влажным климатом.

Все свойства пемзового вулканического пепла, заключенного в типичном неслоистом водораздельном лессе первого (бугского) яруса в г. Днепропетровске, находятся в полном соответствии с основными положениями ветровой гипотезы В. А. Обручева о том, что «первичный лесс имеет эоловый генезис и представляет конечный продукт медленного прерывистого накопления атмосферной пыли на сухой травянистой степи в условиях сухого климата...»⁽⁷⁾.

Источником парокластической атмосферной пыли, за счет которой образовался днепропетровский пепел, необходимо считать липаритовые и липарито-дацитовые лавы, выброшенные вулканами Центрального Кавказа либо Закавказья в позднеплейстоценовое время, что подтверждается находками аналогичного пепла в верхней части лессовой толщи близ станицы Темижбекской на Северной Кавказе⁽⁹⁾ и в лессе, покрывающем древнеэвксинские отложения с *Didacna crassa* Eichw., *D. baeri* Gr., *Monodacna*

atica Eichw., Adacna (Hypanis) plicata (Eichw.), Lithoglyphus caspius
yn., Micromelania caspia (Eichw.), Caspiella eichwaldi (Kryn.) и другими
пийскими формами близ с. Джурджулешты в Болградском районе
маильской области УССР (¹, ⁵).

Поступило
28 III 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. И. Андрусов, Тр. СПб общ. естеств., 25 (1897). ² Л. С. Берг, Климат
изнь, 1947. ³ Н. П. Васильевский, Тр. Инст. геол. АН УзССР, в. 8 (1952).
К. Загорий, Про знахідки вулканічного пспелу в четвертинних відкладах
мськАРСР, УСРР та Воронежськ. обл. РСФСР. Четвертинний період, в. 12 (1937).
Н. Карлов, Природа, № 4 (1951). ⁶ А. И. Москвитин, Мат. по четвер-
н. периоду СССР, в. 3, 130 (1952). ⁷ В. А. Обручев, Бюлл. Комисс. по изуч. четвер-
н. периода, № 12, 5 (1948). ⁸ В. В. Попов, Бюлл. Комисс. по изуч. четвертин.
иода, № 19, 50 (1953). ⁹ П. А. Православлев, О. М. Аншелес, Тр. Ле-
гр. общ. Естеств., 10, № 1 (1930).

И. А. КОНЮХОВ и Г. Н. КОМАРДИНКИНА

К ВОПРОСУ О РЕГИОНАЛЬНОЙ ЛИТОЛОГИИ ВЕРХНЕЮРСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

(Представлено академиком С. И. Мироновым 15 VI 1956)

В строении верхнеюрских отложений северо-восточного Кавказа принимают участие два существенно отличных друг от друга литологических комплекса, а именно: нижний карбонатно-терригенный, относящийся по возрасту к келловейскому ярусу, и верхний сульфатно-карбонатный, охватывающий породы всех остальных ярусов верхнеюрского отдела. В Минераловодском районе и Южном Дагестане терригенные отложения появляются и в составе верхнего комплекса.

Палеонтологические данные по верхнеюрским карбонатным отложениям Дагестана, Северной Осетии и Кабарды дают возможность утверждать, что на этой территории присутствуют породы всех ярусов от оксфордского до титонского включительно (¹, ³⁻⁸). Однако крайне редкое нахождение остатков ископаемых организмов в известняках и доломитах значительно затрудняет выделение ярусов по палеонтологическим данным, и это обстоятельство приводит к необходимости условного выделения в ряде районов стратиграфических единиц на основании сопоставления от разреза к разрезу характерных литологических свит, для которых возраст определен по единичным находкам руководящей фауны.

В пределах северного склона Кавказа верхнеюрские карбонатные отложения прослеживаются почти на всем его протяжении, при этом полоса выходов их на поверхности наиболее расширена в Дагестане, откуда она постепенно суживается к западу — к Грозненской обл., Северо-Осетинской АССР и Кабардинской АССР. Здесь они вместе с породами валанжина составляют величественный Скалистый хребет, достигающий местами высоты свыше 3500 м над уровнем моря.

Наиболее типично верхнеюрские карбонатные отложения развиты в пределах Северного Дагестана, Грозненской обл., Северо-Осетинской АССР и Кабардинской АССР, где присутствуют породы всех ярусов, имеющие наибольшие мощности для всего Кавказа (рис. 1).

Начинается сульфатно-карбонатный комплекс отложениями оксфордского яруса, непосредственно налегающими в Северо-Осетинской АССР и Кабардинской АССР на криноидные брекчиевидные известняки среднего и верхнего келловоя без заметных следов стратиграфического несогласия там, где этот контакт удалось наблюдать, главным образом по рр. Терек, Ардон, Урух, Черек, Чегем, Баксан. В Дагестане отложения оксфордского яруса подстилаются мергельно-глинистыми породами верхнего келловоя. Слагается ярус в большинстве районов свитой пелитоморфных битуминозных известняков, пепельно-серого цвета с поверхности выветривания и черные в свежем изломе, неслоистых массивных или толстослоистых, издающих при ударе резкий запах керосина. Характерно наличие в известняках многочисленных крупных включений темно-серых и бурых кремней.

В восточном направлении известняки на участке между рр. Терек и Асса замещаются доломитами с подчиненными прослоями пелитоморфных

ремных известняков. Мощность их существенно сокращается к бассейну р. Аварское Койсу и ее притокам в Центральном Дагестане; здесь в ряде пунктов, особенно в Южном Дагестане, они полностью клиниваются.

Видимо, в оксфордский век территория Северной Осетии и Кабардинской АССР являлась местом максимального прогибания северо-кавказской геосинклинали. Здесь накапливались осадки наибольшей мощности. Во внешней зоне (бассейн р. Малка, р. Чирах-чай в Дагестане) эти известняки окисались значительно опесчаненными за счет материала, сносившегося с приподнятых участков Предкавказья. В пределах следного бурением скважин в ряде участков (гг. Черкасск, Сентуки, станицы Нагутская, Винномысская, Сенигилеевская, Северо-Ставропольская, Павловская), установлено полное отсутствие оксфордских отложений. Отсутствуют они и в Минераловодском участке северного склона (рр. Подкумок, Эшакон, Аликановка, и др.), составлявшем в то время часть крупного поперечного антиклинального поднятия, охватившего северо-кавказскую осинклиналь на два частных бассейна.

Выше отложений оксфорда залегают породы лужитанского яруса, представленные зернистыми доломитами, в меньшей мере известняками, обычно отличающимися высокой пористостью и кавернозностью. В Северной Осетии и Кабарде породы этого яруса имеют наибольшее развитие, достигая мощности в 300—450 м. Отсюда наблюдается постепенное выклинивание этих отложений в западном и восточном направлениях. В бассейне рр. Чегем и Баксан мощность этих отложений сокращается до 130—110 м, на р. Малка — до 100 м (г. Канджал) и 60 м (г. Бермамыт), в бассейне рр. Кубань и Подкумок — соответственно 40 и 10 м. В последних двух районах ярус сложен преимущественно песчаниками и песчанистыми известняками. В Приисловодском районе по рр. Березовка, Аликановка, Эшакон отложения этого яруса отсутствуют. Отсутствуют они и в районе Северо-Ставропольского Предкавказья в разрезах указанных выше скважин.

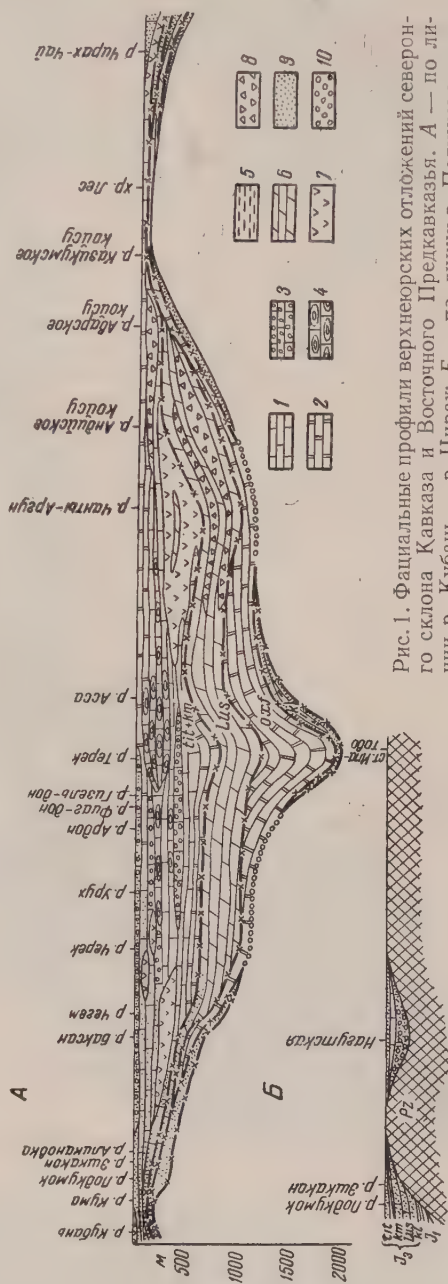
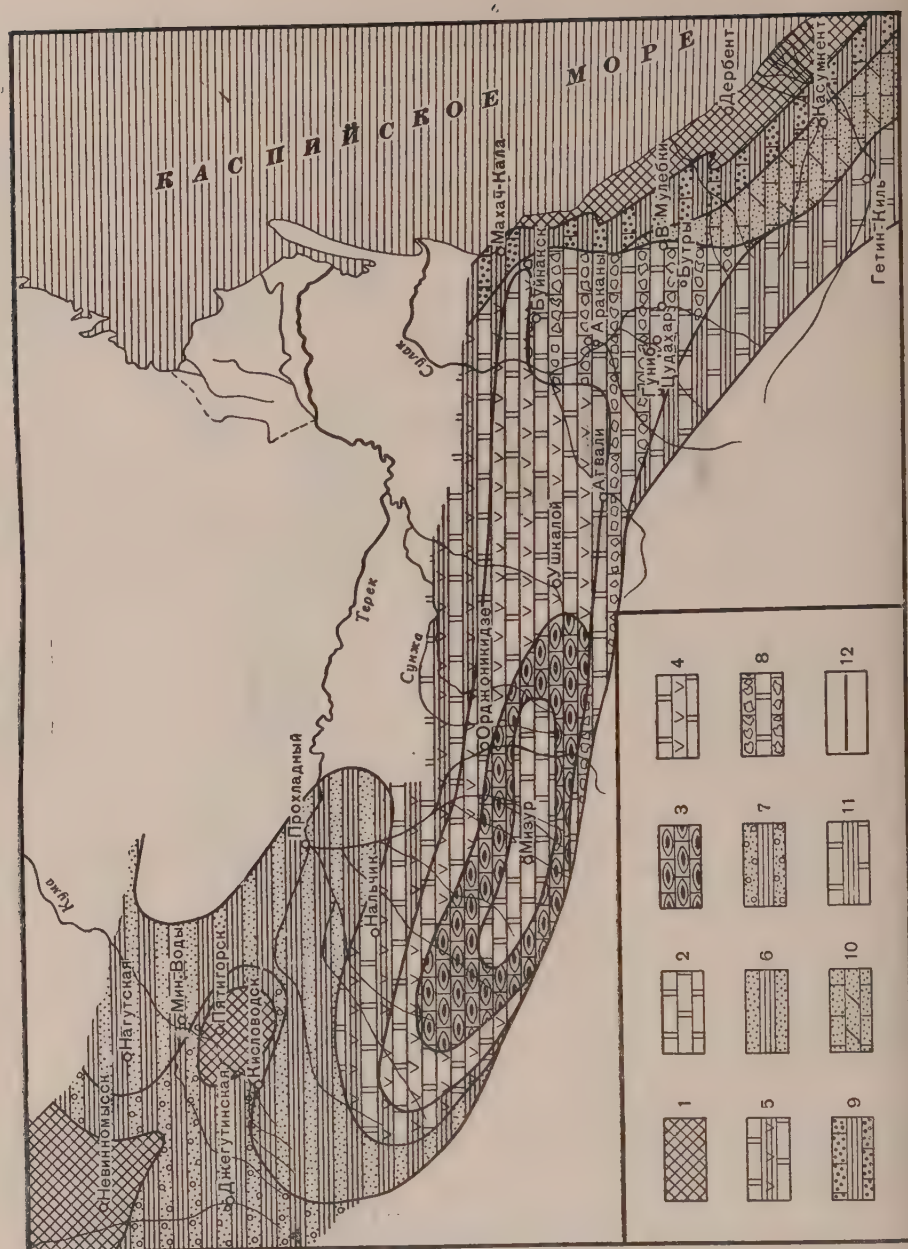


Рис. 1. Фациальные профили верхнеюрских отложений северного склона Кавказа и Восточного Предкавказья. А — по линии р. Кубань — р. Чирах; Б — по линии р. Подкумок — ст. Ипатово; 1 — известняки зернистые; 2 — известняки пелитоморфные; 3 — известняки органические; 4 — известняково-доломитовые брекчии; 5 — глины; 6 — доломиты; 7 — гипсы; 8 — известняково-доломитовые брекчии; 9 — песчаники; 10 — конгломераты

Рис. 2. Схематическая карта литологии оксфорд-титонских отложений северного склона Кавказа и Восточного Предкавказья. 1 — область предпологаемой суши или накопления осадков малых мощностей; 2 — область преимущественного развития пелитоморфных и чистых известняков других типов; 3 — область преимущественного развития органогенно-обломочных, оолитовых известняков; 4 — область преимущественного развития доломитов, известняков, гипсов; 5 — область преимущественного развития доломитов загипсованных глин, гипсов; 6 — область преимущественного развития грубозернистых песчаников, загипсованных красноцветных глин и известняков; 7 — область преимущественного развития пестроцветных глин с прослоями доломитов, известняков и брекчии; 8 — область преимущественного развития известняков и доломитов, часто брекчиевидных и кавернозных; 9 — область преимущественного развития пестроцветных глин с прослоями доломитов, известняков и брекчии; 10 — область преимущественного развития известняков и доломитов, часто песчаных и гравелистых, и пестроцветных глин в верхней части; 11 — область преимущественного развития гликоносных, пестроцвет-



акое же выклинивание лузитанских отложений происходит и в восточном направлении. В бассейне р. Чанты-Аргун в Черных горах они представлены в нижней части зернистыми кавернозными доломитами (60 м), выше — такими же доломитами и известняками с мощными горизонтами брекчий (20 м). Такое же строение наблюдается по р. Андийское Койсу и хребту ала-Тау при некотором уменьшении мощности отложений. В более юго-восточных районах Дагестана происходит дальнейшее уменьшение мощности пород яруса, и во многих пунктах эти отложения выклиниваются полностью.

Выше лежащие верхнелузитанские и кимеридж-титонские отложения Северно-Осетинской АССР и Кабардинской АССР сложены преимущественно оолитовыми, псевдо-солитовыми, органогенно-сблочными известняками. Выше среди этих разностей появляются пласты зернистых доломитов известняков.

В Кабардинской АССР (рр. Черек, Чегем, Баксан) среди кимеридж-титонских отложений на разных уровнях появляются мощные линзы гипсов.

В западном направлении от Северной Осетии и Кабардинской АССР (рр. Подкумок, Эшкакон, Кума, Кубань) мощность ярусов заметно сокращается, и карбонатные отложения постепенно замещаются терригенными разноцветными образованиями, часто также загипсованными и содержащими линзы гипсов. Примерно такая же картина этих отложений прослеживается в восточном направлении. Мощные гипсовые отложения с пролоями загипсованных глин и алевролитов отмечаются по рр. Чанты-Аргун, Андийское Койсу, Чирах-Чай, Самур. Все это позволяет считать, что аналогичные кимеридж-титонских отложений присутствуют и в пределах Дагестана, резко сокращаясь в мощности в центральных и южных районах его.

Все указанные выше основные изменения состава верхнеюрских карбонатных отложений оксфордского, лузитанского, кимериджского и титонского ярусов отображены на построенной нами схематической карте литологии (рис. 2).

В смене пород по разрезу верхней юры можно заметить определенную закономерность, указывающую на общее направление процесса осадконакопления, согласующуюся со схемой механической и химической дифференциации по Л. В. Пустовалову. Выражается она в том, что терригенные морские отложения нижнего келловоя сначала сменяются терригенно-карбонатными морскими образованиями среднего и верхнего келловоя, а затем морскими чисто карбонатными осадками оксфордского яруса. Еще выше развиты известняково-доломитовые, преимущественно лагунные отложения лузитана, и, наконец, в верхней части разреза распространены прибрежно-морские мелководные осадки, среди которых присутствуют мощные пласты гипсов. Местами накопление осадков в верхнеюрскую эпоху завершилось формированием лагунно-континентальных гипсоносных, красноцветных глин и алевролитов.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
13 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. А. Казанцев, Изв. Томск. техн. инст., **32**, 1913 (1914). ² В. Ф. Пчелинцев, Тр. ВГРО, в. 21 (1931). ³ В. П. Ренгартен, Изв. Геол. ком., **28**, № 6 (1926). ⁴ В. П. Ренгартен, Матер. по общ. и прикл. геол., в. 66 (1927). ⁵ В. П. Ренгартен, Тр. Геол. развед. управл., в. 63 (1931). ⁶ В. П. Ренгартен, Б. ИГРИ, сев. А, в. 25 (1933). ⁷ В. П. Ренгартен, Тр. Международн. геологич. конгресса, XVII сессия в СССР, Экскурсии по Кавказу, 1937; В. П. Ренгартен, стратиграфия верхнеюрских отложений, Геология СССР, т. 9, 1947.

В. Н. КОРЦЕНШТЕЙН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МАЙКОПСКИХ ГОРИЗОНТОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

(Представлено академиком С. И. Мироновым 13 VI 1956)

Детальное изучение подземных вод хадумского горизонта Центрального Предкавказья выявило важнейшие их особенности: гидродинамические, гидрохимические, геотермические, а также установило основные черты газонасыщенности (³⁻⁵).

Полученные данные позволяют рассмотреть некоторые вопросы формирования этих вод. При этом важнейшими являются: установление области питания и направления движения подземных вод, формирование их солевого и газового состава, а также особенностей температурного режима.

На первом этапе исследования в Центральном Предкавказье выявлен поток вод в хадумском горизонте, направленный главным образом с запада—юго-запада на северо-восток (рис. 1). Исходные факты, методика и результаты исследований освещены нами ранее (^{2, 5}). Однако ограниченность изучаемого района с запада не позволила определить область питания хадумского горизонта, намечавшуюся в пределах Северо-Западного Кавказа. На втором этапе изучению подвергся район, расположенный к западу от меридиана г. Армавира вплоть до выходов моноклинали Северо-Западного Кавказа (рис. 1). Имеющийся фактический материал анализировался как с геологической, так и с гидрогеологической точки зрения. Чрезвычайно важными явились такие вопросы, как направление распространения полосы песчано-алевролитовых пород (служащих основным резервуаром для вод хадумского горизонта), а также состав хадумских осадков на моноклинали и их гипсометрическое положение.

Хадумские осадки в полосе распространения моноклинали Северо-Западного Кавказа изучены довольно подробно. Обнажаясь на абсолютных отметках порядка 300—600 м, они представлены на выходах, как правило, глинами. Особенность эта характерна для всего Северного Кавказа. Все это свидетельствует о том, что сколь далеко на юго-запад ни распространялась бы широко развитая в Центральном Предкавказье полоса песчано-алевритовых отложений хадумского горизонта — она не достигает обнажений моноклинали и фациально замещается глинами, будучи запечатана между ними. Надо отметить, что в настоящее время все же остается неизвестным местоположение зоны выклинивания рассматриваемых песчано-алевритовых осадков хадумского горизонта. Известно лишь, что зона эта располагается юго-западнее г. Армавира, не достигая при этом широты г. Майкопа. В полосе между этими пунктами глубокого бурения не проводилось. Нижние горизонты майкопской серии, судя по данным сейсмических работ, залегают здесь на глубинах порядка 2200—2500 м (рис. 2).

На основе изложенного приходится констатировать, что хадумские отложения, обнажающиеся на моноклинали Северного Кавказа на отметках 300—600 м, в силу своего глинистого состава не могут служить областью питания потока, обнаруженного столь явственно в Центральном Предкавказье (⁵). Таким образом, попытка найти область питания хадумского водоносного горизонта на основе обычной схемы строения артезианского бассейна не увенчалась успехом.

Поскольку направление поисков области питания хадумского горизонта Северо-Западном Кавказе аргументировано фактическими данными⁵⁾, выявилась необходимость рассмотреть другие горизонты, слагающие коды коренных пород моноклинали. Понятно, что наибольший интерес представляли для нас горизонты, сложенные проницаемыми породами и всякого сомнения питающиеся на моноклинали. Гидравлическая связь их горизонтов с хадумским могла бы объяснить наличие в нем потока

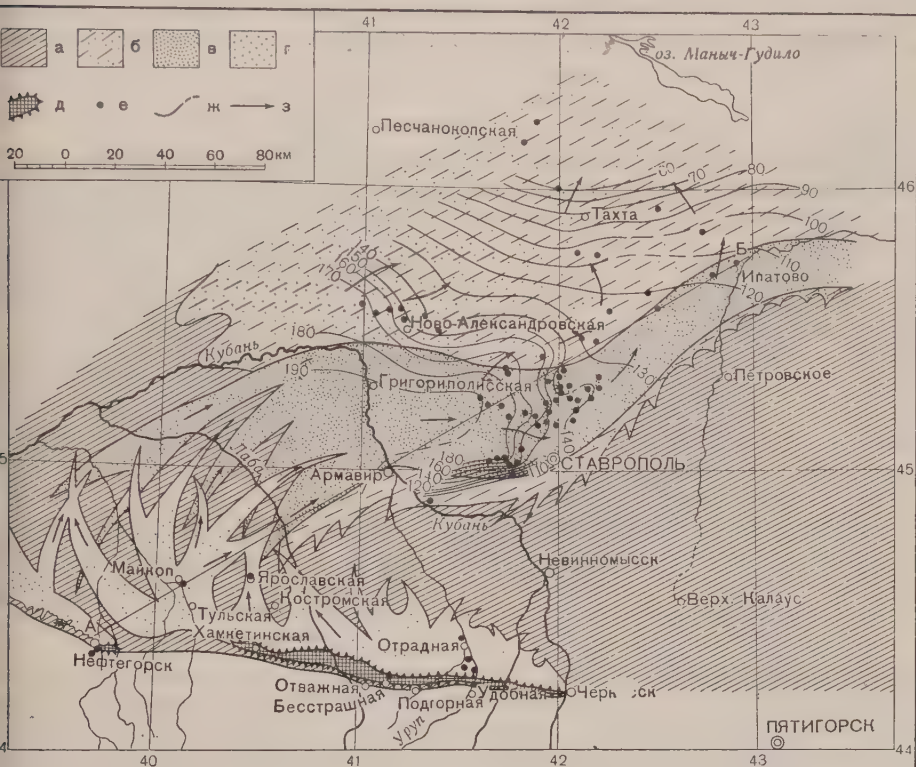


рис. 1. Принципиальное взаимоотношение песчаных горизонтов майкопской серии Центрального и Северо-Западного Предкавказья с точки зрения возможной их гидравлической связи: а — зона развития глинистых осадков, б — зона преимущественного развития глин значительной роли песчано-алевритовых отложений, в — главная полоса песчано-алевритовых отложений хадумского горизонта, г — зоны развития песчаных отложений среднего майкопа, д — выходы на поверхность песчаных горизонтов среднего майкопа, е — важнейшие гидрогеологические скважины, ж — гидроизопьезы хадумского горизонта, з — направление движения вод майкопских горизонтов; АБ — линия профиля (см. рис. 2)

подземных вод. Наибольший интерес вызвал среднемайкопский горизонт, имеющий широкое распространение на Северо-Западном Кавказе, прежде всего потому, что к обнажениям этого горизонта на моноклинали приурочены обширные выходы песчаных пород (см. рис. 1). Первые изолированные выходы среднемайкопских песков отмечаются в районе г. Хадыженска. Междуречьями Нефтяной и Ширванской песчаные выходы уже занимают обширную территорию, достигающую 25 км². Однако самые мощные выходы песчаных среднемайкопских отложений начинаются несколько западнее ст. Тимбетинской, протягиваясь непрерывной полосой на восток (см. рис. 1). Мощность песчаных горизонтов варьирует от нескольких десятков метров до 200 м. Общая площадь обнажающихся на поверхности песчаных горизонтов достигает не менее 200 км². Гипсометрические высоты рассматриваемых выходов варьируют в пределах 300—600 м над уровнем моря. Именно такие абсолютные отметки области питания могут объяснить

высоту напоров подземных вод хадумского горизонта Центрального Предкавказья.

Песчаные горизонты среднего майкопа, как это установлено бурением, прослеживаются в северном и северо-восточном направлениях; при этом обнаруживается четкая тенденция к их фациальному замещению глинами. Весьма важным является вопрос о том, сколь далеко в северном и северо-восточном направлениях протягиваются песчаные горизонты среднего майкопа. Конфигурация линии выклинивания последних точно неизвестна. Никто не может отрицать возможности наличия отдельных песчаных полос, прослеживающихся далеко на северо-восток по направлению

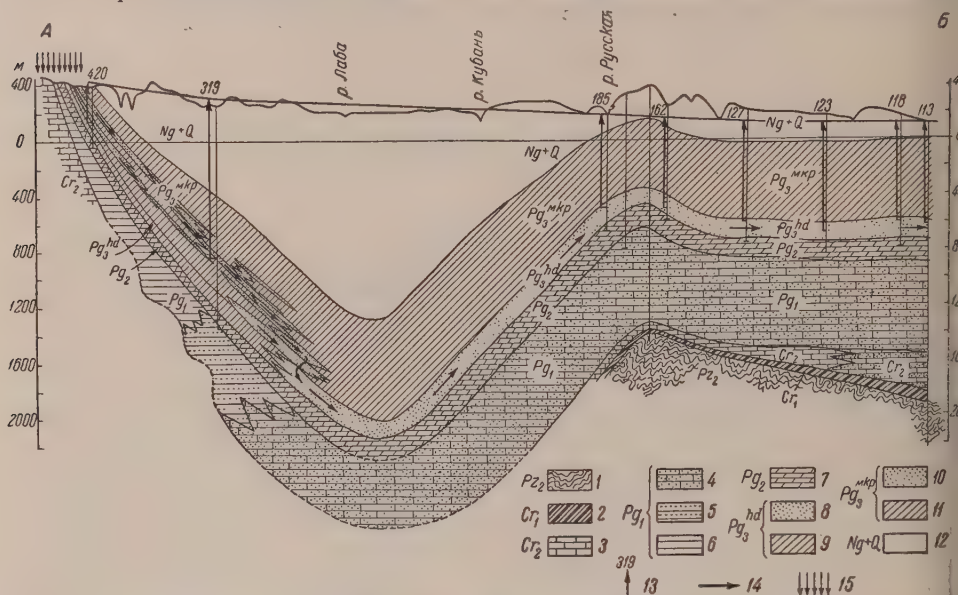


Рис. 2. Гидрогеологический профиль по линии АБ. Отношение горизонтального масштаба к вертикальному 1 : 50. 1 — Герцинский фундамент — сланцы, кварциты; 2 — нижний мел — преимущественно глины; 3 — верхний мел — известняки, изредка песчаники; 4—6 — палеоцен — песчаники, алевриты (4), преимущественно песчано-глинистые отложения (5), преимущественно глинистые отложения (6); 7 — эоцен — преимущественно мергели; 8, 9 — хадумский горизонт — преимущественно алевриты и алевриты (о), преимущественно глины (9); 10, 11 — майкопская серия: средний и верхний майкоп — преимущественно песчаные отложения (10), преимущественно глины (11); 12 — неогеновые и четвертичные осадки; 13 — напоры вод майкопских отложений, цифра — абс. отм.; 14 — направление движения вод майкопских отложений; 15 — область питания

к Ставрополю. Рассмотрение фактических данных по бурению полосы выходов майкопских отложений и к северо-востоку от нее не противоречат такому предположению. Особенный интерес представляют результаты бурения непосредственно южнее г. Майкопа, где многими скважинами вскрыты песчаные горизонты среднего майкопа.

Взаимоотношение песчаных пород майкопской серии Центрального и Северо-Западного Предкавказья носит характер двух встречных разноярусных песчаных полос. Одна из них — хадумская (нижний ярус), протягивающаяся на юго-запад со стороны Ставрополя, а другая — среднемайкопская (верхний ярус), направленная на северо-восток.

Имеющиеся гидрогеологические материалы свидетельствуют о том, что к среднемайкопским песчаным отложениям приурочен довольно мощный водоносный горизонт. Одна из скважин, вскрывших этот горизонт, в течение нескольких лет фонтанировала горячей водой (65°) с дебитом порядка 3000—5000 м³/сутки (при напоре воды 5—7 ати). В течение года самоизливом получено свыше 1,5 млн. м³ воды, сильно насыщенной метаном. Абсолютная отметка статического уровня достигала 319 м (рис. 2). На

значительном удалении к северо-востоку от г. Майкопа, вблизи ст. Ярославской, также вскрыты песчаные горизонты среднего майкопа, давшие ритмики напорных вод со статическими уровнями на отметках порядка 30—250 м.

И. М. Губкин приводил данные о том, что один из наиболее крупных водоносных горизонтов майкопских отложений Нефтяно-Ширванского района приурочен к горизонту мощных песков и глин с включениями. Напоры вод этого горизонта, судя по описанию разрезов скважин №№ 2, 6, 8, варьируют в пределах абс. отм. 300—400 м⁽¹⁾.

Наконец, в районе ст. Отрадной скважинами вскрыты песчаные отложения среднего майкопа, к которым приурочены напорные воды. Статический уровень достигал 500 м над уровнем моря.

Тщательный анализ приведенных выше данных привел нас к выводу о том, что среднемайкопский водоносный горизонт, питающийся на монолинах Северо-Западного Кавказа, разгружается в хадумский горизонт о зонах соприкосновения между ними. Область разгрузки среднемайкопского горизонта одновременно является областью питания хадумского. Эта область питания необычна. Ее трудно было предполагать, исходя из идеализированной схемы строения артезианского бассейна.

Кстати отметим, что имеются основания полагать, что и хадумский горизонт разгружается главным образом не на поверхности, а в нижележащий палеоценовый горизонт по тектоническим нарушениям где-то в районе Манычской депрессии⁽⁵⁾.

Сочленение рассматриваемых песчаных горизонтов, показанное весьма схематично на рис. 2, могло произойти в результате трансгрессивного налегания песчаных отложений среднего майкопа на хадумские песчано-левритовые отложения или в результате увеличения мощностей песчаных отложений этих горизонтов. Наконец, возможны и тектонические нарушения, приведшие к их соприкосновению. Не следует упускать из виду возможность питания майкопских горизонтов Северо-западного Предкавказья также и за счет подтока напорных вод мезозойских горизонтов.

Надо полагать, что при формировании солевого состава главнейшим процессом является выщелачивание из водовмещающих пород первичного комплекса морских солей. Об этом говорит почти исключительно хлорид-натриевый состав солевого остатка вод хадумского горизонта⁽⁴⁾. Широко развиты процессы десульфурования, о чем говорит почти полная бессульфатность вод. Важнейшей особенностью вод майкопских горизонтов является их предельная насыщенность углеводородными газами.

Наличие на пути движения вод майкопских горизонтов глубокой Азово-Кубанской депрессии сыграло первостепенную роль в процессе их формирования. Именно в этой депрессии происходит максимальное насыщение вод углеводородными газами. Здесь же происходит наиболее существенный подогрев вод. Учитывая значения геотермической ступени⁽³⁾, надо полагать, что температура в депрессионной зоне достигает 150°. Подъем вод из депрессии на Ставропольское поднятие сопровождается процессами их азгазирования и отдачей тепла водовмещающим породам. Эти процессы сыграли важнейшую роль при формировании газовых месторождений центрального Предкавказья. Ими же следует объяснить многие особенности минеральности подземных вод горизонтов майкопской серии.

Всесоюзный нефтегазовый
научно-исследовательский институт

Поступило
13 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. М. Губкин, Тр. Геол. Ком., нов. сер., в. 79 (1912). ² А. Л. Козлов, В. Н. Корценштейн, В. П. Савченко, Нефт. хоз., № 10 (1954). ³ В. Н. Корценштейн, ДАН, 96, № 6 (1954). ⁴ В. Н. Корценштейн, ДАН, 104, № 5 (1955). ⁵ В. Н. Корценштейн, Газ. пром., № 5 (1956).

Н. Д. СТАРИКОВА

НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ В НЕКОТОРЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ КАНАЛА им. МОСКВЫ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 14 VIII 1956)

Объектом нашего исследования явились водохранилища, входящие в систему канала им. Москвы: Учинское, Пяловское и Яхромское, заполненные в 1936 г. Водохранилища близки между собой по температурному и гидрохимическому режиму, их берега и дно сложены грунтами одинаковых типов. Но они различаются по гидрологическому режиму, морфометрическим данным, источникам питания и по поступлению осадочного материала. При выборе водохранилищ была поставлена задача проследить, как сказались вышеуказанные различия на донных отложениях: темпе их накопления, содержании органического вещества, распределении отложений по площади дна и т. д. Ниже приводится краткая характеристика водохранилищ.

Учинское водохранилище. Площадь его 19,34 км² при длине 9 км и ширине 4 км. Берега покрыты лесом, умеренно изрезаны, низкие, сложены суглинками и местами песками. Питание водохранилища складывается из небольшого количества вод весеннего паводка и главным образом из поступления волжских вод, отстоявшихся от твердых взвесей в Пестовском водохранилище. Водообмен водохранилища — раз в 6 месяцев. Так как водосборная площадь водохранилища мала, поступление осадочного материала происходит в основном за счет размыва берегов и дна мелководных участков водоема. Фитопланктон достигает массового развития. Развитие высшей водной растительности умеренное.

Пяловское водохранилище. Площадь его 6,27 км² при длине 6,3 км и наибольшей ширине 1,2 км. Берега низкие, покрыты лесом. Питание водохранилища происходит исключительно за счет паводочного стока с местного водосбора. Водохранилище непроточное, уровень его несколько снижается за счет подачи воды в судоходный канал. Осадочный материал поступает с водосборной площади, от абразии берегов и мелководных участков дна. Развитие фитопланктона достигает массового развития, вызывая цветение воды. Высшая водная растительность развита умеренно.

Яхромское водохранилище. Площадь его 1,6 км² при длине 3 км и ширине 0,8 км. Берега высокие, относительная разница высот между вершинами холмов и долиной достигает 80—100 м, малоизрезаны и покрыты лесом. Питание водохранилища и поступление осадочного материала происходит в основном за счет реки Яхромы. Большая водосборная площадь при небольшом объеме обеспечивает Яхромскому водохранилищу четырехкратную смену воды в нем только за счет стока в весенне-летний период. Развитие планктона и особенно высшей водной растительности значительно.

Наблюдения по накоплению осадков были проведены в августе и сентябре 1951 и 1952 гг. Сбор материала производился по поперечным разрезам, расположенным по всей площади водохранилищ. Колонки извлекались стратометром, позволявшим отчетливо отделить рыхлый слой донных отложений от плотного слоя подстилающих почв. Донные от-

жения исследованных водохранилищ состоят главным образом обломочного материала, поступающего с водосборной площади, также от размыва берегов и дна мелководной полосы водохранилища.

По минералогическому составу донные отложения вольно однообразны. Основная масса их состоит из остроугольных, малоокатанных речен кварца. Встречается также роговая обманка, полевые шпаты, слюды и другие минералы, занимающие подчиненное положение. В небольших количествах подаются панширы диатомовых водорослей. По механическому составу донные отложения относятся к группе мелкоалевритовых илов.

В Учинском водохранилище фракция 0,05—0,01 мм составляет в среднем 56,37%, фракция < 0,01 мм 29,2% к сухому веществу. В Пяловском — фракция 0,05—0,01 мм составляет 47,6% и фракция < 0,01 мм 39,8% к сухому веществу. В Яхромском водохранилище среднее содержание фракции 0,05—0,01 мм—47,65%, фракция < 0,01 мм—27,2% к сухому веществу.

Натуральная влажность донных отложений колеблется от 50 до 67%. С глубиной водохранилищ влажность их увеличивается (включая Яхромское водохранилище), что связано с окончанием осадка и увеличением содержания органического вещества в нем.

Рассматривая схемы распределения осадков по площади водохранилищ (рис. 1), можно видеть, что наибольшая мощность осадков в исследованных водохранилищах приурочены к глубоким местам водоема. В Учинском водохранилище изолинии, ограничивающие слой осадков толщиной 5 см, идут вдоль наиболее глубокого места водохранилища — бывшего русла Вязи. Резкий изгиб изолиний в широком месте водохранилища (рис. 1, I) также отвечает бывшему руслу р. Учи. Линии наименьшей мощности осадков располагаются ближе к берегу. Таким образом, накопление осадков идет от берега к середине водохранилища, от мелких мест к глубоким. Аналогичная картина в распределении осадков наблюдается и в Пяловском водохранилище. Изолинии наибольшей мощности осадков идут вдоль

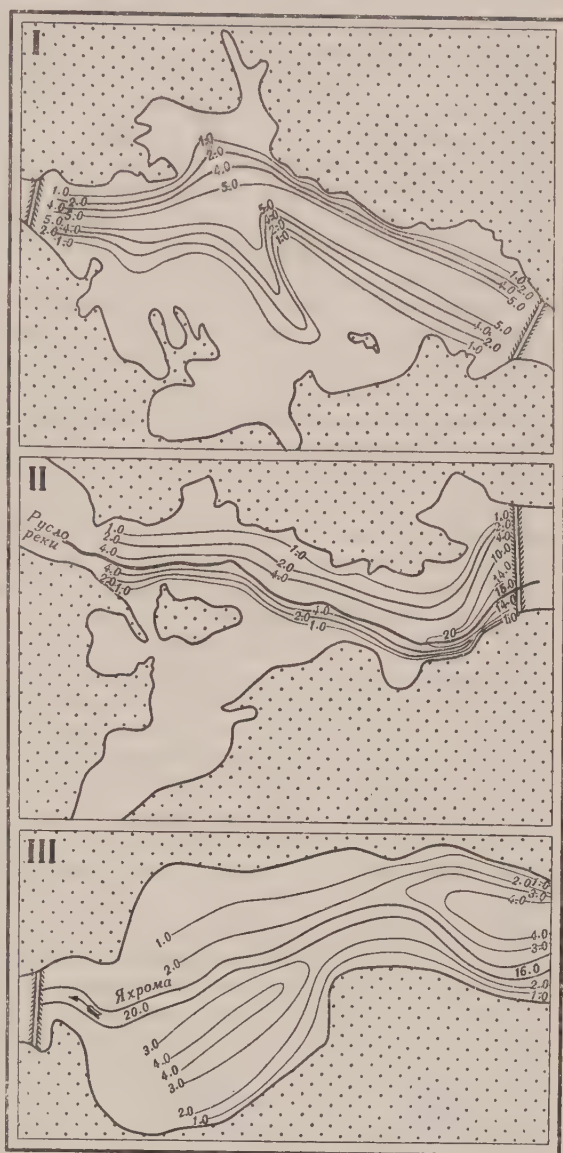


Рис. 1. Схема распределения мощностей донных отложений Учинского (I), Пяловского (II) и Яхромского (III) водохранилищ (числа — в сантиметрах)

глубокого желоба водохранилища, соответствующего бывшему руслу р. Учи, изолинии наименьшей мощности осадков расположены ближе к берегу, т.е. мощность осадков также возрастает с глубиной водоема (рис. 1, II). Но, в отличие от Учинского, где накопление осадков вдоль водохранилища идет почти равномерно и мощность их около верхней и нижней плотин одинакова (что связано с сильным ветровым перемешиванием и разносом осадка по площади водохранилища), в Пяловском водохранилище идет усиленное накопление осадка в нижней части водохранилища (до 20 см). Такое распределение осадков полностью подчинено рельефу дна и конфигурации берега водохранилища. В нижней части Пяловского водохранилища русло р. Учи (а следовательно, и наибольшие глубины) проходя около высокого, сложенного песками правого берега. Волнения сильно размывают его и заполняют русло реки и прилегающие к плотине глубокие участки дна продуктами размыва.

Рассматривая схему распределения осадков Яхромского водохранилища (рис. 1, III), можно видеть, что накопление их, кроме русла реки (наиболее глубокой части водохранилища), локализовано еще на двух участках. Повышенное накопление осадков в среднем плесе водохранилища (до 5 см) вызвано сильно разросшейся надводной растительностью, которая не только сама является источником накопления осадков и задерживает поступающие сюда из верхнего плеса наносы, но и ослабляет ветровые волнения, которые могли бы смывать осадки. Русло реки в этом месте резко отклоняется к левому берегу, течение, возникающее в русле при частых спусках воды из водохранилища, также не оказывает сильного влияния на смыв осадков с этого участка. Второй участок повышенного накопления осадков (толщина слоя осадков до 6 см) расположен в нижнем плесе, около левого берега водохранилища. Эта зона оказалась благоприятной для илонакопления, в связи с защищенностью от ветра данного участка с трех сторон берегом, покрытым лесом, а также с понижением дна и с положением русла (отклонение его к правому берегу). Между руслом реки и правым берегом нижнего плеса находится площадь с минимальным слоем отложений (до 1 см). Небольшое накопление осадков здесь объясняется рельефом дна, полого, спускающегося к руслу, небольшою глубиной и незащищенностью от ветров, дующих вдоль водохранилища. Яхромское водохранилище как по мощности осадков, исключая русло реки, так и по площади их накопления стоит на последнем месте среди исследованных водохранилищ, несмотря на то, что оно питается осадочным материалом, приносимым в большом количестве рекой Яхромой. Причина такого небольшого накопления осадков объясняется гидрологическим режимом водохранилища. Управление гидроузла по техническим причинам часто и быстро снижает уровень воды в нем. Быстрое и резкое снижение уровня вызывает взмучивание тонких частиц осадка даже в «мертвой» зоне около плотины и уносит их за пределы водохранилища. По своему гидрологическому режиму водохранилище можно отнести по терминологии Свиренко (², ³) к типу проточных водохранилищ, т.е. к тому типу водохранилищ, где процессам илообразования противостоят процессы смывания илов.

Для выяснения различий в скорости осадкообразования по водохранилищам и в различных частях их по некоторым станциям была вычислена скорость накопления осадков, выраженная в толщине слоя в миллиметрах за год и в килограммах сухого вещества на 1 м² за год. Небольшие колебания влажности донных отложений, а также небольшое различие в их механическом составе дают возможность сравнивать темпы накопления осадков не только в разных частях одного водохранилища, но и для разных водохранилищ. Все данные по скорости накопления осадков приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, скорость накопления осадков в исследованных водохранилищах подвержена значительным колебаниям в зависимости от рельефа дна, поступления осадочного материала и гидродинамических факторов, действующих в водоеме. Так, в Учинском водохранилище на ст.

Таблица 1

Скорость осадкообразования и скорость накопления минерального и органического вещества на разных глубинах исследованных водохранилищ

Место и глубина взятия пробы	Мощность слоя за 16 лет в см	Скорость отложе- ния осадков, мм/год	Сухое веще- ство	Органич. вещество	Минер. веще- ство
			кг/м³/год		
Учинское водохранилище					
танция 15 м (средн. для 3 разре- зов)	6,0	3,75	1,52	0,10	1,42
танция 15 м (около абрадир. бе- рега)	9,0	5,62	2,30	0,21	2,09
танция 6 м (средн. для 4 раз- резов)	1,0	0,62	0,47	0,02	0,45
Пяловское водохранилище					
танция 12 м	15,0	9,40	4,42	0,23	4,19
танция 9 м (около абрадир. бе- рега)	10,0	6,25	3,52	0,15	3,37
танция 9 м (средн. для 2 разрезов, близ канала)	5,0	3,12	1,47	0,06	1,41
танция 6 м (средн. для 2 разре- зов)	2,0	1,25	0,89	0,04	0,85
Яхромское водохранилище					
танция 5,5 м (русло реки)	20,0	12,4	8,39	0,32	8,07
танция 3 м	4,0	2,5	1,18	0,07	1,11
танция 0,9 м	5,0	3,12	1,48	0,07	1,41

глубину 15 м около размываемого берега накопление осадков составляет 62 мм/год, или 2,3 кг/м², на станциях, расположенных на той же глубине, но удаленных от берега, скорость накопления осадков равна 3,75 мм/год, или 1,52 кг/м² сухого вещества. В Пяловском водохранилище на станции глубиной 9 м вблизи размываемого берега скорость осадкообразования составляет 6,2 мм/год, или 3,52 кг/м² сухого вещества, для станций той же глубины, но лежащих ближе к каналу, она равна 3,12 мм/год, или 1,47 кг/м² сухого вещества.

Накопление осадков идет быстрее всего в русле реки Яхромы (12,4 мм/год, или 8,39 кг/м²), к этой величине приближается накопление осадков в Пяловском водохранилище на станции глуб. 11 м, расположенной около размываемого берега. Скорость накопления осадков в наиболее глубоких местах Учинского (ст. 15 м) и Пяловского (ст. 9 м) водохранилищ, удаленных от сильно размываемого берега, очень близки между собой. Скорость осадкообразования на глубинах 6 м в Учинском водохранилище почти в два раза меньше, чем в Пяловском (см. табл. 1), что связано с морфометрией дна — сильным ветровым перемешиванием водной массы Учинского водохранилища и сносом осадка в более глубокие места.

По имеющимся в нашем распоряжении немногочисленным литературным данным, можно видеть, что скорость осадкообразования в исследованных водохранилищах меньше, чем в других водохранилищах. Так, в Иваньковском водохранилище эта скорость равна 7,12 кг/м²/год для русла реки 4,2—4,7 кг/м²/год для открытых мелководных частей (¹). В водохранилищах Донбасса откладывается от 50 до 150 мм осадков в год (⁴).

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
24 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. Л. Россолимо, Тр. Всесоюз. гидробиол. общ., 2 (1950). ² Д. О. Сви-
ренко, Материалы совещ. в ВОДГЕО, М., 1934. ³ Д. О. Свиренко, Тр. Днепро-
р. гидробиол. ст., 1 (1938). ⁴ Б. М. Ясенов, Я. С. Лисовский, Водоснабж.
санит. техн., № 9 (1939).

Э. Н. ЯНОВ

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ КРАСНОЦВЕТНЫХ И СЕРОЦВЕТНЫХ ОКРАСОК ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком Н. М. Страховым 24 VII 1956)

Среди осадочных пород по признаку происхождения окраски могут быть выделены две большие группы: 1) породы, окраска которых не зависит от присутствия железа (окраска обусловлена цветом слагающих породу минеральных компонентов, повышенным содержанием органического

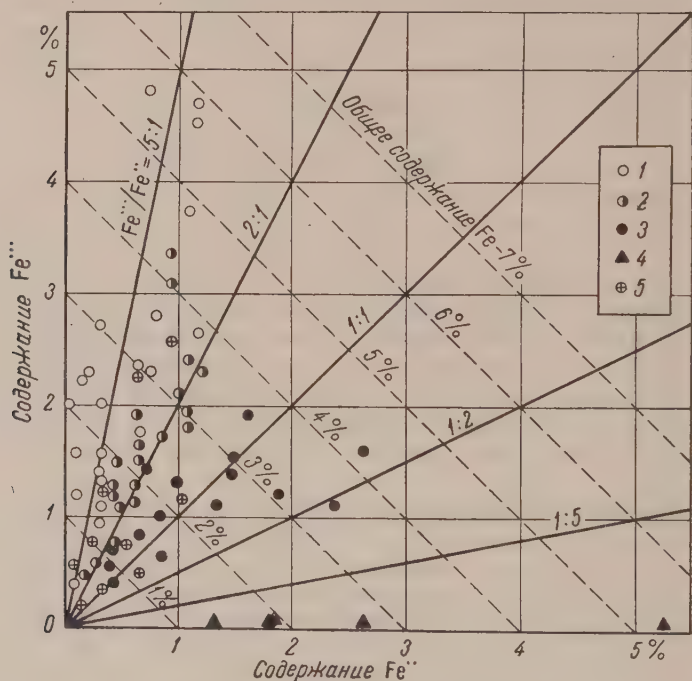


Рис. 1. Зависимость окраски девонских пород от отношения Fe^{3+}/Fe^{2+} .
Окраски: 1 — коричневато-красные, 2 — фиолетовые и др., 3 — зеленовато-серые и серые, 4 — черные, 5 — нейтральные

вещества и т. д.) и 2) породы, окраска которых связана с наличием железистого цемента и железистых «рубашек» на обломочных зернах.

Для пород второй группы характерны следующие типы окрасок: красноватые (коричневато-красные и красновато-коричневые); пестроцветные (фиолетовые, кирпично-красные и коричневые); сероцветные (зеленые, зеленовато-серые и серые); черные и желтые.

В общем виде известно, что вся гамма тонов окрасок пород этой группы связана с той или иной степенью окисления железа. М. В. Кленова⁽¹⁾ наметила зависимость окрасок современных осадков северных морей от отношения Fe^{3+}/Fe^{2+} , названного ею окислительно-восстановительным коэффициентом. Однако для палеозойских пород по этому вопросу имеется весьма ограниченное количество данных. Поэтому автор счел полезным опреде-

ить содержание окисного и закисного железа и марганца в породах различной окраски из девонских отложений Рыбинской, Кемчугской и Минусинских впадин Саяно-Алтайской складчатой области. В настоящее время химической лабораторией Всесоюзного научно-исследовательского геологического института произведено 82 анализа пород из коллекций автора и С. С. Мелешенко (рис. 1). На основании полученных результатов можно делать следующие предварительные выводы о зависимости окрасок осадочных пород этого региона от степени окисления железа (содержание марганца в породах составляет менее 0,1% и, следовательно, марганец не может существенно влиять на окраску пород).

При значениях отношения $Fe^{III}/Fe^{II} > 3,0$ наблюдаются красновато-коричневые и коричнево-красные (красноцветные) окраски. Фиолетовые, кирпично-красные и коричневые тона соответствуют величинам Fe^{III}/Fe^{II} от 1,6 до 3,0. Зеленовато-серые и серые породы имеют $Fe^{III}/Fe^{II} < 1,6$, а черные — около 0. Тональность окраски пород различных литологических типов при одинаковых значениях окислительно-восстановительного коэффициента одинакова. Окраска пород по тональности в общем не зависит от суммарного содержания окисного и закисного железа. Однако интенсивность окраски связана с содержанием железа. Красноцветная (и сероцветная) окраска пород появляется при содержании железа не менее 1,0—1,2% (в карбонатных породах до 0,7—0,5%). При содержании железа от 1,0—1,2% до 1,6—1,8% преобладают светлые тона, а при содержании выше 1,8% (иногда до 6%) — темные тона.

Как известно, степень окисления железа в породах зависит от содержания в них органического углерода. Полученные данные о связи окраски пород с соотношением содержания в них окисного и закисного железа позволили уточнить и зависимость окрасок железосодержащих пород от содержания в них $C_{орг}$. Автор не имел возможности произвести достаточное количество определений $C_{орг}$ и использовал построенную недавно Н. М. Страховым и Э. С. Зальманзон (2) диаграмму распределения аутигенно-минералогических форм железа. По этой диаграмме автором построена диаграмма зависимости окислительно-восстановительного коэффициента от содержания $C_{орг}$ в породах (рис. 2). Оказалось, что сероцветные породы содержат $C_{орг}$ менее 0,1%, или немногим более 0,1%, пестроцветные (фиолетовые, кирпично-красные и др.) породы, судя по значениям окислительно-восстановительного коэффициента, содержат $C_{орг}$ не более 0,2%, а сероцветные породы — выше 0,2%. В этих пределах укладываются и имеющиеся немногие непосредственные определения $C_{орг}$ в породах девона Минусинской котловины. Необходимо оговорить, что выше рассматривался вопрос о первичной окраске пород и следует учитывать часто наблюдающееся осветление красноцветных пород (противоположный процесс — вторичного возникновения красноцветной окраски — автором прослежен не был).

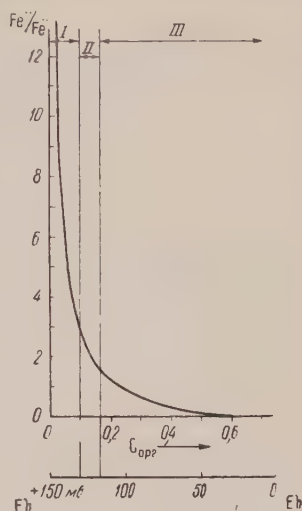


Рис. 2. Кривая зависимости отношения Fe^{III}/Fe^{II} и содержания $C_{орг}$ в осадочных породах, вычисленная по генетической диаграмме распределения аутигенно-минералогических форм железа Н. М. Страхова и Э. С. Зальманзон (2). I — красноцветные породы; II — пестроцветные породы; III — сероцветные породы

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 М. В. Кленова, Геология моря, 1948. 2 Н. М. Страхов, Э. С. Зальманзон, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1955).

Поступило
20 VII 1956

Д. М. РАУЗЕР-ЧЕРНУСОВА

О НЕВОЗМОЖНОСТИ ПРИЗНАНИЯ *BORELIS PRINCEPS*
EHRENB. 1854 ТИПИЧНЫМ ВИДОМ РОДА
SCHWAGERINA MOELLER, 1877

(Представлено академиком Н. С. Шатским 25 VI 1956)

Род *Schwagerina Moeller, 1877*, один из наиболее широко распространенных и важных в стратиграфическом отношении родов, существовал до 1936 г., т. е. в течение 59 лет, в совершенно стабильном и общепринятом понимании, согласно прекрасного изображения типичной особи *Schwagerina princeps Moeller, 1878 (non Ehrenberg)* и соответствующего четкого диагноза. Но в диагнозе рода, данного в 1877 г., Меллер неосторожно указал на *Borelis princeps Ehrenberg, 1854*, как на типичный вид.

Borelis princeps Ehrenb. 1854 г. никем не изучался. Изображения Эренберга⁽¹⁾ не дают никакого представления о признаках внутреннего строения раковины, являющихся основными в диагнозе всех фузулинид. Меллер, указав *B. princeps Ehrenb.* типичным видом рода *Schwagerina*, не подверг оригиналы Эренберга дополнительному изучению в шлифах, согласно принятому им методу, что было подтверждено в 1936 г. Данбер и Скиннер⁽²⁾. Все последующие авторы, начиная со Швагера, за типичный вид рода *Schwagerina* фактически принимали *Schwagerina princeps Moeller, 1878, non Ehrenberg*.

В 1936 г. Данбер и Скиннер расшлифовали оригиналы Эренберга, представленные кремнями. Сохранность оригиналов, как это видно на таблице статьи (табл. 10, фиг. 7 и 8), такова, что о строении раковины можно только догадываться; ее начальные обороты, по словам авторов, «are altered to clear quartz and do not show plainly» (стр. 86); на строение стенки, одного из важнейших признаков рода, нет даже намеков, и единственными устанавливаемыми признаками являются вздутая форма раковины и сильная складчатость септ. В силу этого авторы при описании *Borelis princeps* не могли даже установить лектотипа вида.

Несмотря на то, что особи *Borelis princeps Ehrenb.* не дают представления о виде, отвечающем современным требованиям систематики, несмотря на отсутствие указания у Эренберга на точное местонахождение и возраст оригиналов, авторы «ревизии» сочли возможным воскресить из мертвых неизвестный и неопределимый вид и признать его генотипом рода *Schwagerina*. Этим авторам пришлось упразднить другой род — *Pseudofusulina Dunbar et Skinner, 1931*, также широко распространенный среди фузулинид, поставив его в синонимику рода *Schwagerina Moeller, 1877*, а для бывшего рода *Schwagerina* предложить наименование *Pseudoschwagerina Dunbar et Skinner, 1936*.

Но шарообразной формой и сильной складчатостью септ обладают виды нескольких родов разного возраста среди фузулинид. И в результате воскрешения *Borelis princeps* за последние два десятилетия нанесен явный ущерб стабильности и универсальности номенклатуры в систематике фузулинид, что противоречит одному из основных принципов систематики, выдвинутых Копенгагенским конгрессом зоологов в 1951 г.

В 1936 г. Д. М. Раузер-Черноусова протестовала против предложения Данбер и Скиннер о переименовании двух важнейших родов фузулинид на основании 1) неудовлетворительной сохранности оригиналов *Borelis princeps* Ehrenb. и неясности родовых признаков, а также отсутствия указания на топотипическую местность, что должно привести в дальнейшем к новым переименованиям и текучести в номенклатуре; 2) стабильности и общепринятости в течение 59 лет рода *Schwagerina* Moeller, 1877, основанного фактически не на *Borelis princeps* Ehrenb.; 3) доказательств принятия Меллером и другими авторами лишь *Schwagerina princeps* Moell. (non Ehrenb., фактически типичным видом рода (в первом диагнозе рода, данном Меллером в 1877 г., использованы признаки внутреннего строения раковины, тогда как таковое у *Borelis princeps* Ehrenb. до 1936 г. было неизвестно); 4) возможности толкования ссылки Меллера на *B. princeps* Ehrenb. в диагнозе 1877 г. лишь как ссылку на характерный вид рода, а не типичный вид (см. мнение 71 Международных правил зоологической номенклатуры) и 5) необходимости сохранения *Schwagerina* как *nomen conservandum* в силу большого стратиграфического значения этого рода, глубоко укоренившегося в геологической и палеонтологической литературе.

В 1949 г. Д. М. Раузер-Черноусова и С. Ф. Щербович показали, что типичный вид рода *Pseudoschwagerina* Dunb. et Skin., 1936 (*Ps. uddeni* Beede et Knik.) в родовом отношении резко отличается по ряду признаков от *Schwagerina princeps* Moeller, 1878 и последняя должна быть выделена в особый род (I. с., стр. 63—64). В настоящее время все палеонтологи СССР, следуя за Д. М. Раузер-Черноусовой, различают три рода: *Pseudoschwagerina* Dunb. et Skin., 1936, *Schwagerina* Moeller, 1877 и *Pseudofusulina* Dunb. et Skin., 1931, принимая два последних рода в старом понимании.

С 1954 г. М. Л. Томпсон вновь признает род *Pseudofusulina* Dunb. et Skinner, 1931, считая его типичный вид (*Ps. huocoensis* Dunb. et Skin.) весьма далеким от *Borelis princeps* Ehrenb. 1854. К роду *Schwagerina* этим автором отнесена только часть бывших псевдофузулин, но без четкого очерчивания их признаков, что несомненно повлечет в дальнейшем новое изменение объема рода *Schwagerina* в понимании американских и некоторых других авторов.

На несоответствие некоторых признаков *Borelis princeps* Ehrenb. признакам псевдофузулин и на большую близость первого по характеру навивания раковины к швагеринам (в старом понимании) указал М. Элиас (⁶). Он считает предложенное переименование швагерин недостаточно обоснованным, так как оно основано на явно нетипичном виде и без учета полного объема вида и его филогении. По поводу этого случая М. Элиас указывает на нежелательность прямого применения Международных правил зоологической номенклатуры к палеонтологическим родам древнего и широкого признания, что приводит часто к запутанности в номенклатуре и система тике вместо прояснения и однообразия.

Ряд авторов (¹, ³, ⁷, ⁸) высказывали сожаления о сделанном двойном переименовании родов фузулинид, создавшем большие затруднения в систематике и, главное, в практическом применении фузулинид. Самим виновникам переименования пришлось признаться (³), стр. 625—26), что типичным видом рода *Schwagerina* Moeller, 1877, возможно, была фактически *Schw. princeps* Moeller, 1878, а не *Borelis princeps* Ehrenb., 1854. Те же авторы подчеркивают желательность сохранения рода *Schwagerina* в старом понимании в качестве *nomen conservandum* (стр. 625, прим. 1). Ханзава (⁷) высказал сомнение в стабильности рода *Schwagerina* в новом понимании.

Все вышеизложенное дает бесспорно основание для признания *Borelis princeps* Ehrenb., 1854 за *nomen dubium* в силу неясности родовых и видовых признаков и отсутствия указания на *locus typicus*. Это наименование вносит запутанность в систематику фузулинид и должно быть признано недействительным. Бесспорным типом рода *Schwagerina* является *Schwagerina princeps* Moeller, 1878 (non Ehrenb.), как первый наиболее полно

описанный и хорошо изображенный вид этого рода, понимавшийся совершенно четко, однообразно и универсально всеми палеонтологами, на что указывает стабильность этого рода в течение 59 лет. К тому же род *Schwagerina* Moeller, 1877, как широко и длительно используемый в геологической литературе и имеющий очень большое стратиграфическое значение, имеет полное основание на консервацию, согласно мнения 107 Международных правил зоологической номенклатуры и пунктам 28 и 128 решений Конгресса зоологов в Копенгагене в 1951 г.

Геологический институт
Академии наук СССР

Поступило
21 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ R. Ciry, Ann. Paléont., 30 (1943). ² C. O. Dunbar, J. W. Skinner, J. Palaeont., 10, № 2 (1936). ³ C. O. Dunbar, J. W. Skinner, Univ. Texas Bull., 3701 (1937). ⁴ Ch. Ehrenberg, Ber. Verh. Kön. Preuß. Akad. Wiss., Berlin, 1842. ⁵ Ch. Ehrenberg, Mikrogeologie, Leipzig, 1854. ⁶ M. Elias, J. Palaeont., 24, № 2 (1950). ⁷ Sh. Hansawa, Japan. J. Geol. Geogr., 16, № 1—2 (1939). ⁸ F. Kahler, G. Kahler, Palaeontogr., 87, Abt. A (1937). ⁹ V. Moeller, Neues Jahrb. Min. ect., 1877. ¹⁰ V. Moeller, Mém. Acad. Imp. Sci., ser. 7, 25, № 9 (1878). ¹¹ D. Rauser-Chernoussowa, Bull. Acad. Sci. URSS, Cl. sc. math. et nat., ser. geol., № 4 (english) (1936). ¹² Д. М. Раузер-Черноусова, С. Ф. Щербонович, Тр. Инст. Геол. наук АН СССР, в. 105 (1949). ¹³ M. L. Thompson, Univ. Kansas Paleont. Contrib., Protozoa, art 5 (1954).

М. Н. ЧУГАЕВА

НОВЫЕ РОДЫ ТРИЛОБИТОВ ИЗ СРЕДНЕГО И ВЕРХНЕГО ОРДОВИКА ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

(Представлено академиком Н. М. Страховым 2 I 1956)

За последние годы коллективом стратиграфов и палеонтологов различных организаций, возглавляемым Б. М. Келлером (ИГН АН СССР), проводились стратиграфические исследования отложений среднего и верхнего

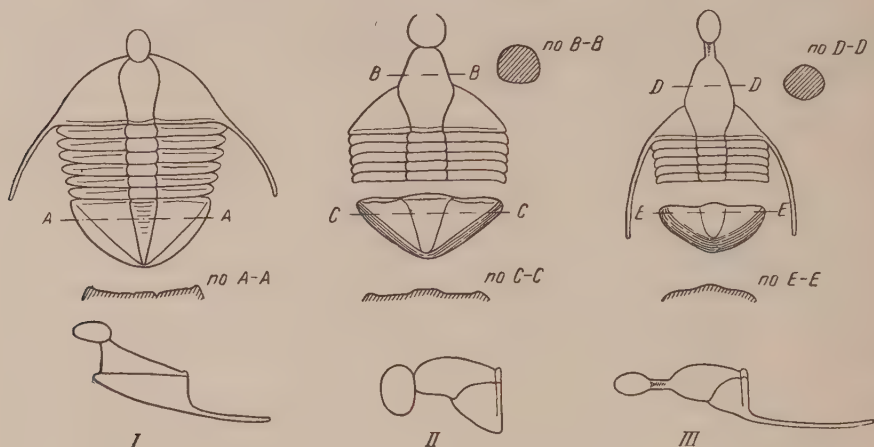


Рис. 1. I — *Bulbaspis ovulum* (Web.) (генотип), копалинский и караканский горизонты. II — *Bulbaspis sphaerornata* gen. et sp. nov., андеркенский горизонт. III — *Bulbaspis mirabilis* gen. et sp. nov., дуланкаринский горизонт

ордовика Южного Казахстана. В результате полевых наблюдений и монографической обработки фауны наметилась следующая последовательность горизонтов.

В среднем ордовике — копалинский горизонт (примерно соответствующий лланвирнскому ярусу международной шкалы), караканский горизонт (н. лландейло), свита Беке (в. лландейло), андеркенский горизонт (н. и ср. карадок), отарский горизонт (в. карадок) и в верхнем ордовике — дуланкаринский и чокпарский горизонты.

При изучении трилобитов из этих отложений атору удалось обнаружить несколько новых родов, диагнозы трех из которых приводятся ниже.

Сем. RAPHIOPHORIDAE ANGELIN

Род *Bulbaspis* gen. nov.

1932. Амрух (part.) Вебер. Трилобиты Туркестана, стр. 5, табл. IV, фиг. 38
1948. *Raphiophoris* (?) (part.) Вебер. Монография по палеонтолог., т. 69 стр. 15, табл. II, фиг. 9, 10, 12 13.

Д и а г н о з: *Raphiophoridae*, у которых глабель вместо шипа снабжена шариком; туловищных сегментов 5—6.

Генотип: *Ampyx bulbifer* Вебер, 1932 — караканский горизонт Батпакадалы.

Общие замечания. Среди казахстанских рафиофорид В. Н. Вебером ⁽¹⁾ впервые были обнаружены очень оригинальные формы, снабженные, вместо обычного на переднем конце глабели шипа, шариком, который располагался как на переднем конце глабели, так и на ее фронтальной лопасти (рис. 1). Эти формы Вебер ⁽¹⁾ сначала отнес к роду *Ampyx*, а позднее ⁽²⁾ — условно к роду *Raphiophorus*.

Рафиофориды с шариком вместо шипа представляют собой совершенно обособленную группу форм, отличающихся от ранее известных своим оригинальным «украшением». Однако разные виды имеют различное число сегментов (пять у *B. bulbifer* Web. и шесть у *B. ovulum* Web.) и не могут быть отнесены с уверенностью ни к *Ampyx*, ни к *Raphiophorus*. По-видимому, следует выделить эту группу видов в самостоятельный род, так как присутствие шарика является важным и в то же время очень четким признаком, подобно ланцетовидной форме глабели у *Lonchodomas*, — рода, который при определении обычно не вызывает больших сомнений.

Распространение и возраст. Центральный и Южный Казахстан — средний и верхний ордовик.

Сем. BRONTEIDAE GOLDFUSS

Род *Dulanaspis* gen. nov.

Диагноз: Спинной щит овальной формы с головным щитом несколько более коротким, чем хвостовой. Головной щит полулунный. Гладкая глабель отчетливо ограничена спинными бороздами, сливающимися впереди, оставляя перед глабелью узкую плоскую кайму. На неподвижных щеках вблизи спинных борозд на уровне глазных крышек более или менее отчетливые параглабелярные лопасти. Глаза большие, задние. Передние ветви лицевого шва расходящиеся. Щечные углы заострены или с короткими широкими шипами. Ось широкая, плавры и осевые кольца узкие. Концы плавр заострены.

Хвостовой щит округло-треугольный с коротким треугольным рахисом, который может быть гладким или слабо сегментированным. На продолжении рахиса едва заметный киль. Боковые лопасти плоско-выпуклые, гладкие или слабо ребристые. Наружный край щита окружен неширокой пониженной каймой. Заворот немного шире каймы, струйчатый.

Генотип: *Dulanaspis levis* gen. nov. — дуланкаринский горизонт Чу-Илийских гор.

Общие замечания. *Dulanaspis* gen. nov. наиболее близок по своему строению к роду *Eobronteus* Reed ^(6, 9), но в то же время несет целый ряд черт, сближающих его с *Illaenus*. Чертами, сближающими рассматриваемый род с *Eobronteus*, является отчетливо выраженная краевая кайма, пережатая посередине глабель, присутствие параглабелярных лопастей на неподвижных щеках, короткий, ограниченный сзади, треугольный рахис. Отличие заключается в том, что *Dulanaspis* лишен щечной борозды и борозды, идущей от параглабелярных лопастей наклонно наружу и назад. Сегментация хвостового щита и рахиса у *Eobronteus* обычно очень слабая или вовсе отсутствует, в то время как у *Dulanaspis* она резкая. Наружный край хвостового щита *Dulanaspis* окружен каймой и заворот обычно лишь

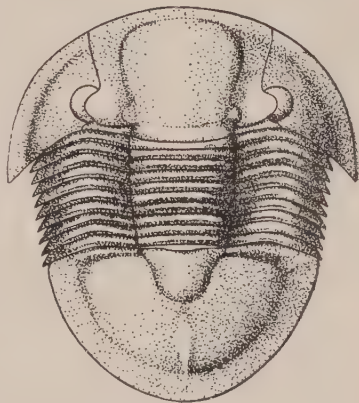


Рис. 2. *Dulanaspis levis* gen. et sp. nov. (гинотип), дуланкаринский горизонт

немного шире этой каймы, у *Eobronteus* же краевой каймы хвостового щита не наблюдается, а заворот очень широкий. Ряд общих черт *Dulanaspis* имеет и с представителями рода *Illaenus*. У многих илленид глаза расположены близко к заднему краю, не выражено затылочное кольцо. Короткий рахис также очень характерен для сравниваемого семейства. Среди *Illaenidae*

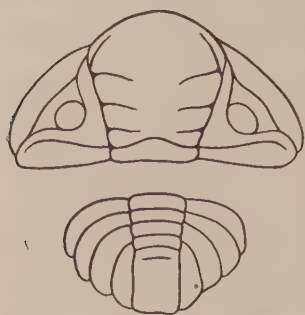


Рис. 3. *Pliomerina dulanensis* gen. et sp. nov., дуланкаринский горизонт

к рассматриваемому роду особенно близок *Illaenus masckei* Holm. ⁽³⁾, который имеет короткий, отчетливо ограниченный сзади, треугольный рахис, узкую пониженную краевую кайму, но очень широкий заворот хвостового щита.

Голм ⁽³⁾, Шиндевольф ⁽⁸⁾ и Варбург ⁽¹⁰⁾ отмечали появление форм, сочетающих в своем строении признаки *Illaenidae* и *Bronteidae*, и указывали на то, что, возможно, оба эти семейства являются близкородственными.

Таким переходным между указанными семействами Шиндевольф ⁽⁸⁾ считает род *Goldillaenus*, который ближе стоит к *Illaenidae* и с оговорками упомянутым автором помещается в это семейство.

Род *Dulanaspis* также сочетает в своем строении признаки семейств *Illaenidae* и *Bronteidae*, однако с преобладанием признаков последнего.

Появление таких форм, сочетающих признаки двух семейств, по-видимому, указывает на филогенетическую близость последних. Поэтому оба эти семейства можно считать близкородственными, произошедшими, вероятно, от одного общего предка. В дальнейшем процессе эволюции обе ветви пошли по разным путям развития. Но иногда среди них встречаются формы, у которых проявляются черты предков и тогда развиваются роды и виды, сочетающие признаки обоих семейств.

Распространение и возраст. Южный Казахстан — верхи среднего — нижняя половина верхнего ордовика.

Сем. PLIOMERIDAE ÖRIK

Род *Pliomerina* gen. nov.

1917. *Pliomera martelli* Reed. Pal. Indica p. 22., pl. VIII, fig. 15, 16.

1934. *Pliomera* aff *martelli* Kobajashi. The Cambro-ordovician formations and fauna of South Chosen, p. 594, pl. 36, fig. 10.

1948. *Pliomera* (part.) Вебер. Нижнесилурийские трилобиты, стр. 72, табл. XI, фиг. 21.

1948. *Encrinurella* Вебер. Нижнесилурийские трилобиты, стр. 74.

Д и а г н о з: Глабель с округленным передним краем. На глабели протягивается четыре пары боковых борозд, причем первая борозда — предфронтальная — начинается от спинных борозд и тянется, примерно, параллельно переднему краю, оставляя впереди себя калевидную расширяющуюся назад предфронтальную лопасть. Задние три пары слабо наклонены внутрь и назад. При этом базальная борозда почти горизонтальная и располагается близко к заднему краю. Борозды могут быть длинными, не достигающими посередине друг до друга примерно на $\frac{1}{4}$ ее ширины, тогда отсекаемые ими лопасти довольно большие, или же могут быть очень короткими и широкими, тогда предфронтальные лопасти маленькие, вздутые, узловатые.

Хвостовой щит округло-треугольный, состоит из пяти сегментов. Ось слабо суживающаяся назад; пять осевых колец разделены широкими отчетливыми бороздами, резкость которых убывает к заднему краю. Широкие плевры разделены узкими бороздами. Задняя пара плевр слита вместе в единую лопасть, расположенную на продолжении оси. Концы плевр сближены, тупо округлены, от чего наружный край щита имеет зазубренный вид.

Генотип: *Pliomera martelli* Reed 1917, средний ордовик Юн-Наня.
Общие замечания. Наиболее характерным для описываемого рода и резко отличающим его от остальных представителей сем. *Pliomeridae* является присутствие предфронтальной борозды и соответствующей лопасти на глабели. В хвостовом щите наиболее существенным признаком являются близко расположенные короткие плевры, не выходящие за наружный край, и слившаяся задняя пара плевр. Отличительные признаки головного и хвостового щитов хорошо выдерживаются у всех представителей (известно пока пять видов) описываемого рода, они и послужили причиной выделения нового рода.

Наиболее близкий к рассматриваемому род *Pliomera Angelin*, отличающийся отсутствием предфронтальной борозды и соответствующей лопасти и свободной (не сросшейся) задней парой плевр хвостового щита. Присутствие четвертой, предфронтальной, пары борозд сближает описываемый род с сем. *Encrinuridae*. Так, В. Н. Вебер⁽¹⁾ отмечает эту борозду у *Encrinurus punctatus* из Кузнецкого бассейна, заметна эта борозда и у *E. kongshangensis* Reed⁽⁵⁾. Кроме того, *Pliomerina canthifrons* (Web)⁽²⁾ имеет маленькие узловатые боковые лопасти, как у *Encrinurus*.

Среди других *Encrinuridae* к рассматриваемому роду особенно близок бирманский род *Encrinurella* Reed., отличающийся отсутствием предфронтальной борозды глабели. Кроме того, у бирманского рода задняя пара плевр хвостового щита сближена, но не слита в единую лопасть.

Распространение и возраст. Род *Pliomerina* известен из верхов среднего ордовика Кореи, Китая и верхов среднего и верхнего ордовика Казахстана.

Поступило
2 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Н. Вебер, Трилобиты Туркестана, 1932. ² В. Н. Вебер, Трилобиты силурийских отложений СССР, Монографии по палеонтологии СССР, 69, в. 1, 1948.
³ G. Holm, Revision der ost alt. silur. Trilobiten, Abt. 3, Mem. Acad. Sci., ser. VII, 1886.
⁴ T. Kobajashi, J. Fac. Sci. Imp. Univ. Tokyo, 3, 8, 9 (1934). ⁵ F. C. Reed, Paleontol. Indica, ser. XV, 7, Mem. № 2 (1912). ⁶ F. C. Reed, Ann. Mag. Nat. Hist., ser. 10, 1 (1928). ⁷ F. C. Reed, Geol. Mag., 65, 51 (1928). ⁸ O. H. Schindewolf, Senckengergiana, 6, H. 5—6 (1924). ⁹ G. W. Sinclair, J. Paleontol., 23, № 1, 46 (1949). ¹⁰ E. Warburg, Bull. Geol. Inst. Univ. Upsala, 17 (1925).

В. Я. БРОДСКИЙ

КОЛИЧЕСТВО РИБОНУКЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ В НЕРВНЫХ КЛЕТКАХ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРОВ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузенем 22 IX 1956)

Высокая концентрация рибонуклеиновой кислоты (РНК) в нервной клетке объясняется многими цитологами и биохимиками тем, что РНК участвует в специфической функции нервной клетки (¹⁻⁹). Как считают эти авторы, отличия в количестве и концентрации РНК в различных нервных клетках определяются разным функциональным состоянием этих клеток. Не опровергая этих данных, я хочу обратить внимание на иной факт, также выявляющий значение РНК в жизнедеятельности нервной клетки, а именно — на закономерную связь между количеством РНК в цитоплазме и объемом нейрона. Эта зависимость была замечена при визуальном изучении в ультрафиолетовом микроскопе препаратов мозжечка, сетчатки и коры головного мозга кроликов, крыс и лягушек. Концентрация РНК в различных нейронах определенного отдела мозга при визуальной оценке приблизительно одинакова, но объем клеток значительно отличается (например, средние и малые пирамиды коры; клетки Пуркинье, Гольджи и клетки-зерна мозжечка; ганглиозные клетки и биполяры сетчатки). Таким образом, можно было предположить, что количество РНК (произведение концентрации РНК на объем тела* нервной клетки) зависит от объема тела клетки. Так как более крупные клетки имеют и более длинные отростки, можно было предположить, что количество РНК зависит от общего объема нейрона. Однако, учитывая приблизительность визуальной оценки, а также то, что в исследованных отделах центральной нервной системы изучались клетки со сложной и разнообразной функцией, было решено провести более точную количественную оценку РНК в нервных клетках одного функционального типа. Для изучения РНК был использован метод ультрафиолетовой цитофотометрии, позволяющий определять количества РНК порядка 10^{-12} г в любом участке нервной клетки. Цель работы — выяснение связи между количеством РНК и объемом нервной клетки, и в итоге между количествами РНК и белка.

Для фотометрии были выбраны мотонейроны спинного мозга. Как известно, нейриты этих клеток доходят без перерыва до мышц, расположенных на различных расстояниях от спинного мозга. Хорошо известно, в каком сегменте спинного мозга расположены мотонейроны, иннервирующие определенные мышцы. Изучались мотонейроны заднего бокового двигательного ядра (n. dorso-lateralis cornu anterioris) спинного мозга крысы на уровнях: в шейном отделе — C_8 — Th_1 (мотонейроны этих сегментов иннервируют мышцы пальцев верхней конечности), в грудном Th_6 — Th_8 (иннервация межреберных, грудных и брюшных мышц), в поясничном L_6 — S_1 (иннервация мышц пальцев нижней конечности). Материал фиксировался по Карнуа смесью формалина и спирта (1 : 9) и смесью формалина, спирта и уксусной кислоты (3 : 1 : 0,3). Последний фиксатор производит наименьшее сжатие клеток и дает лучшую цитологическую картину. Все три фиксатора сохраняют сопоставимые количества нуклеиновых кислот.

* Как хорошо известно (^{10, 11}), РНК локализуется только в теле нервной клетки, никогда не бывает расположена в нейрите.

Фиксация проводилась методом инъекции в кровеносную систему наркотизированного барбиталом (амиталом натрия) животного⁽¹²⁾, а также обычным способом погружения кусочков мозга в фиксирующий раствор; в последнем случае крыс убивали эмболией. Для изучения выбирали блоки с наименее сжавшимися клетками. Парафиновые срезы определенной толщины (5—7 μ) изучали и фотографировали в ультрафиолетовом микроскопе, усовершенствованном Е. М. Брумбергом. Монохроматические лучи с длиной волны 265 $m\mu$ выделялись из спектра лампы СВД—120 плоской дифракционной решеткой (1200 штрихов на 1 мм). Все снимки сделаны с кварцевым объективом 58 \times *n* А 0,8 и окуляром 8 \times . Экспозиция на пластинках «спектральные», тип 1—7 сек. Последовательная фотографическая цитометрия РНК и ДНК проводилась на регистрирующем микрофотометре МФ-4 по описанной ранее методике*^(13, 14). Ошибка в определении концентрации РНК в принятых условиях съемки и фотометрии не превышала $\pm 10\%$. Количество РНК определялось как произведение концентрации вещества на площадь наибольшего сечения цитоплазмы (площадь измерялась на увеличенной проекции негатива при помощи планиметра). Измерение площади намного точнее применяющихся способов⁽¹⁾ нахождения объема мультиполярного нейрона. Подобное определение количества (концентрация \times \times площадь) вполне законно, так как мотонейроны ориентированы поперечнику спинного мозга. Изучение продольных и поперечных срезов спинного мозга показало, что наибольшая ось мотонейрона всегда расположена в направлении нейрита. Таким образом, площади наибольших сечений клеток столь же сравнимы друг с другом, как объемы этих клеток.

Визуально исследованы препараты спинного мозга 22 крыс. Фотометрия и расчет концентрации и количества РНК проведены в 250 мотонейронах восьми крыс.

На рис. 1 и 2 показаны различия в концентрации и количестве РНК в цитоплазме мотонейронов. Из рис. 1 видно, что концентрации РНК у различных мотонейронов значительно варьируют, но средняя концентрация РНК в разных отделах спинного мозга приблизительно одинакова. Отсюда следует, что количество РНК определяется размерами нервной клетки. Прямая пропорциональная зависимость между количеством РНК и объемом мотонейрона показана на рис. 2. Коэффициент корреляции между размерами нейрона и количеством РНК в нем равняется для мотонейронов спинного мозга $+0,85 \pm 0,01$. Распределение материала на рис. 2 говорит о том, что эта зависимость имеет место не только между мотонейронами разных отделов, но и в пределах одного отдела. В то же время концентрации и количества РНК варьируют у клеток одного и того же размера. Эта вариабильность может быть объяснена различным функциональным состоянием мотонейронов. Таким образом, не только в пределах одного и того же отдела мозга «нормального» животного, но и внутри однотипной группы узкоспециализированных клеток наблюдаются отличия в состоянии химических компонентов. Степень варьирования (вариационный коэффициент) приблизительно одинакова у животных, наркотизированных барбиталом при инъекции фиксатора в кровеносную систему, и у погибших от эмболии. Однако концентрация РНК в цитоплазме мотонейронов наркотизированных барбиталом крыс значительно ниже, чем у ненаркотизированных животных.

Количество дезоксирибонуклеиновой кислоты в ядрах мотонейронов разных отделов в среднем одинаково. Отношение РНК/ДНК колеблется в пределах 10—20.

Дополнительно была измерена по методике Касперссона⁽¹⁷⁾ концентрация

* В настоящей работе изменено время гидролиза срезов горячей трихлоруксусной кислотой. В первых работах режим гидролиза был заимствован из статей Шнейдера⁽¹⁵⁾ и Поллистера и Риса⁽¹⁶⁾. В дальнейшем было найдено, что полное удаление РНК из срезов происходит за 5—7 мин. При более продолжительном гидролизе (15—20 мин. по Поллистеру и Рису) изменяются оптические свойства белка, что приводит к неверному определению неспецифических потерь света⁽¹⁴⁾ и, в конечном итоге, концентрации РНК, которая в этом случае измеряется с занижением.

белка в цитоплазме мотонейронов. Средняя концентрация белка приблизительно одинакова в различных отделах спинного мозга. Если учесть, что объемы нейронов в различных отделах спинного мозга значительно отличаются, можно сделать вывод, что количество белка в нервных клетках определяется их размерами.

Сопоставляя полученные данные о прямой связи между объемом нейрона и количеством РНК и белка и имея в виду многочисленные указания об уча-

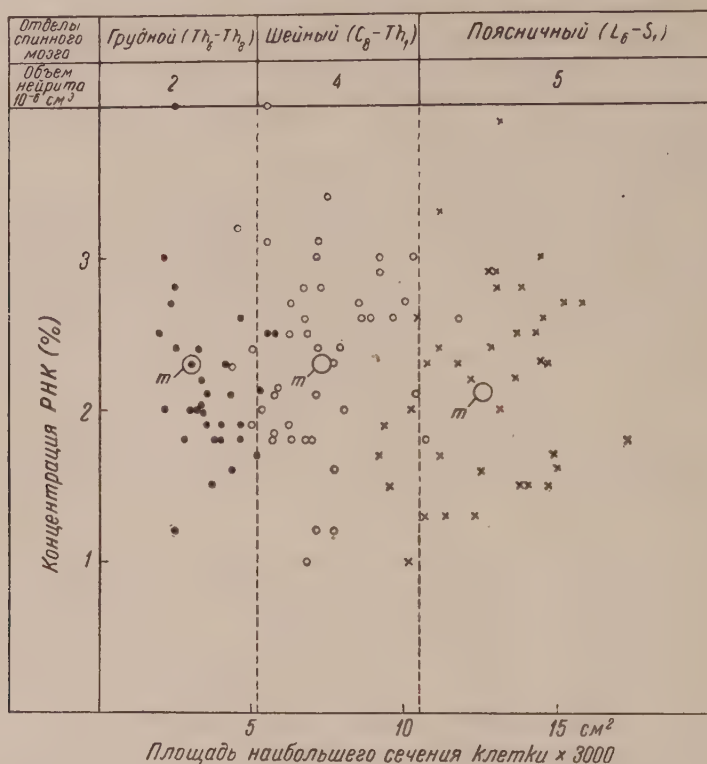


Рис. 1. Концентрация РНК в цитоплазме мотонейронов различной величины; *m* — средние концентрации

стии РНК в синтезе белка, можно прийти к заключению, что количество РНК в нейроне определяется количеством белка. Нервная клетка, в отличие от других клеток организма, работает постоянно или находится в состоянии постоянной готовности; степень «изнашиваемости» белков нейрона очень высока, соответственно высока и скорость обновления белка (¹⁸). Синтез белка осуществляется РНК. Но одна функциональная нагрузка не может объяснить высокого содержания РНК в нервной клетке. В изученных отделах спинного мозга мотонейроны грудного отдела, которые иннервируют дыхательные мышцы, работают не менее интенсивно, чем мотонейроны мышц конечностей. Тем не менее, количество РНК в мотонейронах шейного и поясничного отделов значительно выше, чем в мотонейронах грудного отдела. Это обстоятельство может быть объяснено тем, что обновление белка происходит постоянно, в том числе и в состоянии относительного покоя нейрона. Нейронам большего объема, содержащим большее количество белка, требуется и более мощный аппарат обновления белка. Поэтому в нервных клетках с относительно одинаковой по интенсивности функцией, но имеющих различное количество белка, различается и количество РНК.

Известные данные об изменении РНК при функционировании нейрона не противоречат полученным мною результатам. Синтез белка для восстановления убыли его количества при усиленной функции нейрона (^{1, 2}) не

характеризует всего значения РНК в жизнедеятельности нейрона. Тело нервной клетки — центр непрерывного восстановления белка, независимо от того, расходуется ли белок при проведении нервных импульсов или синтез служит только целям обновления белка в огромном отростке нервной

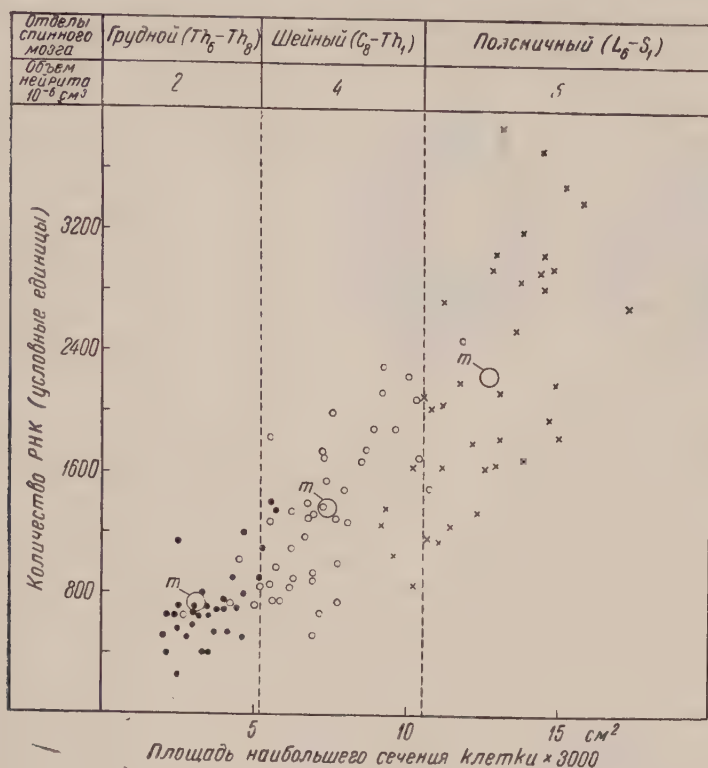


Рис. 2. Количество РНК в цитоплазме мотонейронов различной величины; *m* — средние количества

клетки. В большинстве тканей организма обновление клеточного белка осуществляется путем смены клеток — гибели старых клеток и замены их молодыми за счет камбия. Нервная клетка, утратившая способность к делению функционирующая в течение всего постэмбрионального периода жизни животного, сохраняет аппарат синтеза белка и потому столь же богата РНК, как эмбриональные ткани и клетки взрослого организма, за счет которых осуществляется физиологическая регенерация.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
[7 VIII 1956]

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Н y d é n, Acta physiol. scand., 6, suppl. 17 (1943). ² Н. Н y d é n, Symp. Exp. Biol., 1, 152 (1947). ³ Н. Н y d é n, Neurochemistry, 1955, 204. ⁴ S. Brattgård, Н. Н y d é n, Acta Radiol. Scand., 94 (1952). ⁵ S. Brattgård, Н. Н y d é n, Intern. Rev. Cytol., 3, 455 (1954). ⁶ Н. Н y d é n, Н. Hartelius, Acta psychiatr. neurol. Scand., suppl. 48 (1948). ⁷ Б. В. Кедровский, Усп. совр. биол., 31, 1, (1951). ⁸ K. Attardi, Experientia, 9, 11, 422 (1953). ⁹ S. Brattgård, Exp. Cell Res., 2, 4, 693 (1951). ¹⁰ J. Brachet, C. R. Soc. Biol., 133, 88 (1940). ¹¹ T. Caspersson, Н. Landström, G. Wohlfart, Zs. mikr. Anat. Forsch., 49, 534 (1941). ¹² А. Л. Шабадаш, Гистохимия гликогена нормальной нервной системы, М., 1949. ¹³ В. Я. Бродский, ДАН, 102, № 2, 357, 1955. ¹⁴ В. Я. Бродский, Усп. совр. биол., 41, 2 1956. ¹⁵ W. Schneider, J. Biol. Chem., 161, 293 (1945). ¹⁶ A. Pollister, Н. Ris, Cold Spring Harbor Symp., 12 (1947). ¹⁷ T. Caspersson, L. Santesson, Acta Radiol., suppl. 46 (1942). ¹⁸ Г. Е. Владимиров, Функциональная биохимия мозга, М., 1954.

И. И. КИКНАДЗЕ

ДИНАМИКА ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ
В ХОДЕ РАЗВИТИЯ ЯИЦ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 28 III 1956)

В настоящее время в цитохимии и химической эмбриологии большое внимание уделяется нуклеиновым кислотам. Это объясняется тем, что эти соединениям придается существенное значение в основных процессах жизнедеятельности клеток. Особый интерес представляет изучение их поведения в столь своеобразных и специфичных клетках, как половые, и в таких важных процессах, как дробление, эмбриональная дифференцировка и др.

Первые работы по изучению нуклеиновых кислот в развивающихся яйцах относятся к концу XIX в., когда Коссель (¹) и его ученики установили наличие нуклеиновых кислот в яйцах насекомых и рыб, а также описали синтез этих соединений по мере развития яиц.

Вопрос о возможности, источниках и путях синтеза ДНК при развитии яиц обострился в 30—40-е годы XX в. в связи с попытками создания обобщающих теорий (², ³). Интересные данные в этот период были получены с помощью нуклеальной реакции Фельгена. Было обнаружено, во-первых, что у ряда животных по мере роста овоцитов происходит ослабление реакции Фельгена, вплоть до полного ее исчезновения в зародышевом пузырьке (⁴⁻⁶ и мн. др.). Во-вторых, оказалось, что ядра бластомеров в ранних стадиях дробления также дают очень слабую нуклеальную реакцию (⁷).

Новая волна исследований в этом направлении относится к последнему десятилетию, когда работы по изучению нуклеиновых кислот в развивающихся яйцах стали осуществляться в аспекте теории постоянства содержания дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) в ядрах (⁸⁻¹⁰). В этих работах применялась в основном реакция Фельгена в сочетании со спектрофотометрией. На основании полученных данных был сделан вывод о том, что в течение овогенеза содержание ДНК остается постоянным; в интерфазных ядрах бластомеров количество ДНК сохраняется в определенных пределах. Исчезновение или ослабление фельгеновской реакции при овогенезе и в ядрах первых стадий дробления этими авторами расценивалось как оптический обман, обусловленный изменением объема ядер при содержании в них ДНК.

Ряд отечественных и иностранных авторов (¹¹⁻¹⁷) приводят факты, противоречащие теории постоянства содержания ДНК на ядро применительно к эмбриональному материалу. Ими было показано наличие фельгеноотрицательных зародышевых пузырьков и пронуклеусов у ряда организмов, разное количество ДНК в ядрах макромеров и микромеров и т. д.

Обобщая литературные данные, можно сказать, что, несмотря на большое количество работ и многообразие поднятых вопросов, твердо решенным надо считать лишь вопрос о наличии синтеза ДНК в ходе развития яиц. Вместе с тем многие проблемы остаются далеко не решенными, исследованиями охвачен относительно малый круг объектов.

В настоящей работе изучалось содержание, распределение и количественные изменения ДНК в ядрах бластомеров на разных стадиях развития и в зависимости от митотического цикла. Использование в работе представителей различных типов беспозвоночных давало возможность судить о закономерностях наблюдаемых явлений.

Объекты исследования*: 1) кишечнополостные — *Laomedea* (*Gonothyrea*) *loveni* Allm. и *Campanulina* (*Opercularella*) *lacerata* John.; 2) черви — *Phy-*

* Материал по морским беспозвоночным собирался на Мурманской биологической станции АН СССР.

doce maculata Orsted.; 3) ракообразные — *Cyclops fuscus* Jur., *Cyclops strenuus* Fisch и *Daphnia pulex* de Geer; 4) моллюски — *Physa fontinalis* L. *Lacuna vinkta* Montagu.

У всех объектов фиксировались последовательные стадии развития яиц с момента оплодотворения до гаструлы. Для фиксации употреблялись: сулема с ледяной уксусной кислотой; смеси Бранка-Васюточкина, Карнуа, Шампи, а также 10%-й формалин и спирт (100 и 96°).

Для определения ДНК служила реакция Фельгена. Использовался также ультрафиолетовый микроскоп МУФ-2.

Результаты наших исследований мы начинаем с ракообразных, так как по этой группе получены более полные и отчетливые данные.

Ракообразные. Динамика ДНК при дроблении *C. strenuus* та же, что и у *C. fuscus* (17). Сформированные пронуклеусы и здесь ануклеальны. Реакция Фельгена оказывается отрицательной после применения

различных фиксаторов (Карнуа, сулема с ледяной уксусной кислотой, 10%-й формалин, Шампи). При фотографировании в ультрафиолетовых лучах получаются картины, подтверждающие данные реакции Фельгена: материал, поглощающий ультрафиолетовые лучи с $\lambda=260$ мμ, в пронуклеусах с достоверностью обнаружить не удается (исключая ядрышки) (рис. 1, а). Во время подготовки к первому делению созревания количества ДНК в пронуклеусах увеличивается. Об этом можно судить как по нуклеальной реакции, так и на основании ультрафиолетовой микроскопии (рис. 1, б). Интерфазные ядра blastomerov до 64-клеточной стадии дают очень слабую реакцию Фельгена. На стадии от 2 до 8 blastomerov ядра могут быть совершенно ануклеальны. Начиная с 16-клеточной стадии, в интерфазных ядрах сохраняется незначительное количество ДНК. В профазе делений дробления ДНК отщепляется в больших количествах, в телофазе она постепенно уменьшается. В поздней бластуле и гаструле, в противоположность ранним стадиям, интерфазные ядра дают четкую реакцию Фельгена. у *C. strenuus* обнаруживается своеобразное поведение ДНК в первичных половых клетках. Ядра этих клеток (с момента их обособления) не бывают апуклеальными: в них сохраняются гетерохроматиновые участки хромосом. В поздней бластуле и гаструле ДНК ядер первичных половых клеток собрана в две крупные, очень интенсивно красящиеся глыбки; нитей ядерного остова в ядрах этих клеток обнаружить не удастся, в ядрах остальных blastomerov они хорошо выражены.

Дробление яиц *C. strenuus* сопровождается увеличением общего количества ДНК на яйцо.

У *Daphnia pulex* de Geer исследовались как партеногенетические яйца, так и яйца, развивающиеся с оплодотворением. Поведение ДНК в яйцах обоих видов оказалось очень сходным.

Пронуклеусы и у этого объекта фельгенотрицательны (рис. 2, 1). Интерфазные ядра ранних стадий дробления (до 16—32 blastomerov) не дают положительной нуклеальной реакции или сохраняют следы ДНК (рис. 2, 2). Последняя легко обнаруживается в профазных ядрах. При образовании blastoderмы интерфазные ядра дают отчетливую реакцию Фельгена (рис. 2, 3). При дроблении яиц дафнии наблюдается значительное повышение содержания ДНК на каждое яйцо. Нужно отметить, что яйца дафнии, особенно «иминные», мало пригодны для цитологического изучения с помощью реакции Фельгена вследствие очень малого объема их ядер. Часто после об-

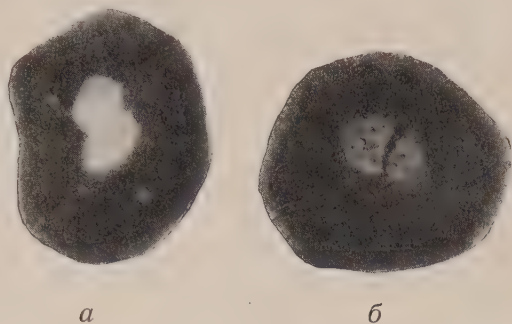


Рис. 1. *Cyclops strenuus*: а — слияние пронуклеусов; б — подготовка к первому делению дробления. Фото в ультрафиолетовых лучах ($\lambda = 260$ мμ)

работки по Фельгену без дополнительной окраски или применения фазо-контрастного устройства не удавалось даже найти ядер.

М о л л ю с к и. Пронуклеусы и амфинуклеус физы обладают своеобразной грубозернистой структурой. Достоверной реакции Фельгена в них обнаружить не удается (рис. 2, 4).

Интерфазные ядра ранних стадий дробления ануклеальны. В профазе появляются вначале зерна, затем нити, содержащие ДНК. В телофазе происходит ослабление окрашиваемости ядер по Фельгену.

Со стадии 32—64 бластомеров в интерфазных ядрах сохраняется слабая нуклеальная реакция (рис. 2, 5). Эта реакция усиливается в интерфазных ядрах гастрюлы и особенно велигера. Увеличение содержания ДНК в ядрах при подготовке их к делению наблюдается и здесь, но не в таких размерах, как на предыдущих стадиях. Во время дробления происходит нарастание содержания ДНК на яйцо.

У лакуны наблюдается морфологическое различие между хромосомами первого и второго делений созревания, а именно в метафазе последнего хромосома значительно короче, чем во время первого деления созревания. В ряде случаев в яйце обнаруживается два сперматозоида, однако образования дополнительных пронуклеусов наблюдать не удалось. Сформированные пронуклеусы содержат следы ДНК (рис. 2, 6). В профазе происходит значительное увеличение содержания ДНК (рис. 2, 7). Судя по профазным ядрам, лакуна вообще отличается от остальных исследованных животных высоким содержанием ДНК на ядро. Интерфазные ядра на первых этапах дробления дают очень слабую нуклеальную реакцию (рис. 2, 8). Перед началом гастрюляции ДНК в интерфазных ядрах начинает сохраняться. Это же явление характерно для гастрюлы (рис. 2, 9) и более поздних стадий развития. Поведение ДНК в ядрах микромеров и макромеров одинаково, несмотря на некоторое различие в величине этих ядер.

Развитие сопровождается повышением содержания ДНК на яйцо.

К о л ь ч а т ы е ч е р в и. При образовании пронуклеусов у *Phyllodoce maculata* ДНК претерпевает определенные количественные колебания: уменьшается в начале набухания пронуклеусов и увеличивается в сформированных пронуклеусах. Амфинуклеус фельгенотрицателен. В ходе дробления четко выступает цикличность изменений ДНК: интерфазные ядра либо совершенно лишены ДНК, либо содержат только ее следы (рис. 2, 10, 11). В профазе количество ДНК резко увеличивается, в телофазе — постепенно уменьшается. Перед гастрюляцией и в гастрюле циклические изменения ДНК протекают не в столь широких размерах. В интерфазе реакция Фельгена остается положительной, хотя она и более слабая, чем в профазе (рис. 2, 12).

Яйца филлодоце представляют очень удобный объект для изучения профазных и телофазных изменений ядерного материала. В профазе ДНК обнаруживается в виде крупных зерен на нитях ядерного остова. В телофазе можно детально проследить образование кариомеров и постепенное ослабление в них фельгеновской реакции.

В яйцах филлодоце часто встречаются случаи полиспермного оплодотворения, но образования дополнительных пронуклеусов наблюдать не удалось.

К и ш е ч н о п о л о с т н ы е. Применение реакции Фельгена к развивающимся яйцам гидроидов показало, судя по профазным ядрам, различие

Рис. 2. Изменения ДНК в ядрах бластомеров в митотическом цикле и в ходе дробления яиц. 1—3 — *Daphnia pulex* (партеногенетические яйца): 1 — пронуклеус, 2 — 8—16 бластомеров, 3 — стадия бластодермы; 4—5 — *Physa fontinalis*: 4 — слияние пронуклеусов, 5 — 32—64 бластомера; 6—9 — *Lacuna vinkta*: 6 — сближение пронуклеусов, 7 — подготовка к первому делению дробления, 8 — 24 бластомеры, 9 — гастрюла; 10—12 — *Phyllodoce maculata* (Ersted): 10—2 бластомера, интерфаза, 11—16 бластомеров, 12 — гастрюла. Фиксация по Карну, обработка по Фельгену (оболочки яиц лакуны дают реакцию с реактивом Шифа и без гидролиза). Увеличение: 1—3 — об. 40, ок. 7, 4—12 — об. 40 ок. 10.



Рис. 2

содержании ДНК на ядро между гонотиреей и кампанулиной: ядра кампанулины богаче ДНК, чем ядра гонотирей. Но поведение ДНК оказывается сходным у обоих видов.

Зародышевые пузырьки в овоцитах гонотирей и кампанулины ануклеальны. Пронуклеусы либо совершенно лишены ДНК, либо сохраняют небольшое ее количество. Амфинуклеусы фельгенотрицательны.

Ануклеальные интерфазные ядра характерны для ранних стадий дробления (от 2 до 64 бластомеров), а у гонотирей и для паренхимулы. Во всех фазах кариокинеза ДНК легко обнаруживается. Начиная со стадии предгаустры у кампанулины и гаустры у гонотирей, ДНК сохраняется и в интерфазных ядрах. В ряде случаев у кампанулины наблюдается полиспермия, связанная с избыточным осеменением. В ходе дробления имеет место общее увеличение содержания ДНК на яйцо.

Таким образом, в настоящей работе были изучены объекты с разными типами дробления (равномерным, неравномерным, поверхностным, радиальным и спиральным), яйца различной величины и с неодинаковым содержанием желтка. Несмотря на это, у всех них изменения ДНК оказались весьма сходными. Пронуклеусы, перед их слиянием, были либо фельгенотрицательны (циклоп, дафния, физа, гидронды), либо давали очень слабую реакцию на ДНК (лакуна).

В ходе дробления происходит общее увеличение содержания ДНК в связи нарастанием количества ядер. Однако поведение ДНК в митотическом цикле различно в зависимости от стадии дробления.

На ранних этапах развития (2—32 бластомера) интерфазные ядра дают очень слабую (лакуна) или даже отрицательную (циклоп, дафния, физа, рескожил, гонотирей, кампанулина) реакцию Фельгена. В профазе в ядрах выявляется значительное количество ДНК. Метафазные хромосомы окрашиваются по Фельгену очень интенсивно. В телофазе вновь наблюдается исчезновение ДНК. Эти наблюдения подтверждаются ультрафиолетовой микроскопией.

Начиная с поздней блаустры или с гаустры (этот момент варьирует у разных объектов), такая цикличность в поведении ДНК не имеет места, и интерфазные ядра дают отчетливую нуклеальную реакцию.

Изменения содержания ДНК не зависят от количества желтка, размеров яйца, величины бластомеров (при неравномерном дроблении). Можно думать, что различные циклы поведения ДНК в зависимости от стадии развития определяются особенностями ядерно-плазменных отношений развивающихся ищ.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что нуклеиновые кислоты в эмбриональном развитии животных претерпевают закономерные изменения, связанные с почти полным расходом ДНК в пронуклеусах в интерфазных ядрах на ранних стадиях дробления. Эти данные говорят в пользу неприменимости теории видового постоянства содержания ДНК к ранним этапам эмбрионального развития.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
17 III 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. Kossel, Zs. physiol. Chem., **10**, № 3 (1886). ² J. Needham, Biochemistry and Morphogenesis, Camb. Univ. Press, 1942. ³ J. Brachet, Embryologie chimique, Paris, 1944. ⁴ A. Koch, Zs. Zellforsch. u. mikr. Anat., **2**, № 1—2 (1925). ⁵ J. Brachet, Arch. Biol., **39**, № 4 (1929). ⁶ H. Bauer, Zs. Zellforsch. u. mikr. Anat., **18**, № 1—2 (1933). ⁷ H. Voss, Zs. mikr.-anat. Forsch., **34**, № 1 (1933). ⁸ M. Alfert, Cell. and Comp. Physiol., **36**, № 3, (1951). ⁹ H. Swift, R. Kleinfeld, Physiol. Zool., **26**, № 4 (1953). ¹⁰ R. MacMaster, Anat. Rec., **113**, № 4 (1952). ¹¹ L. Lison, J. Pasteels, Arch. Biol., **62**, № 1 (1951). ¹² J. Pasteels, L. Lison, Nature, **167**, № 42, 58 (1951). ¹³ Л. И. Павлова, Автореферат диссертации, Л. 1952. ¹⁴ П. В. Макаров, Сборн. Вопросы биологии оплодотворения, 1954. ¹⁵ K. S. Ludwig, Arch. Biol., **65**, № 1, 135 (1954). ¹⁶ A. Marshak, C. Marshak, Exp. Cell. Res., **8**, № 1 (1955). ¹⁷ И. И. Кикнадзе, ДАН, **100**, № 3, 1955.

Л. Б. БЕРЛИН

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ПОПЕРЕЧНОПОЛОСАТЫХ МЫШЕЧНЫХ
ВОЛОКОН КОЖИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПИТАНИЯ НА НЕЙ
КЛЕЩЕЙ *HYALOMMA ASIATICUM* P. SCH. et E. SCHL. (Сем. IXODIDAE)

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 14 V 1956)

Значение пастбищных клещей как эктопаразитов и переносчиков трансмиссивных заболеваний общеизвестно. Однако, если биологии этих клещей посвящено большое число работ, местное воздействие их на ткани хозяина гистологически изучено недостаточно (¹⁻⁵), и, между прочим, отсутствуют данные об изменении волокон кожной мускулатуры. В литературе имеется значительное количество работ, в которых подробно освещены реактивные изменения поперечнополосатых мышц после разнообразных повреждающих воздействий (^{7, 9, 13-15}) и при общих интоксикациях (^{6, 18}). Представляет определенный интерес изучить изменения мышечных волокон при кормлении большого числа длительно питающихся клещей, так как в этом случае имеется сочетание как местного механического и токсического влияний на кожу (¹⁻⁵), так и общего токсического действия (¹⁶), и сравнить полученные результаты с уже известными реактивными изменениями мышц после других повреждающих воздействий.

В наших опытах клещи питались на 16 кроликах и 15 морских свинках. На выбритую кожу боковой поверхности спины производилась наклейка в виде рукава по Г. В. Сердюковой, в который помещались взрослые клещи *Hyalomma asiaticum* P. Sch. et E. Schl. — свинкам по 10, а кроликам по 50 самцов и самок*. В определенные сроки — от 1 суток до 4 месяцев — кожа вместе с клещами, если они еще питались, или без них, если они к этому времени уже открепилась, была фиксирована 12%-м нейтральным формалином или центер-формолом. Заливка производилась в целлоидин, целлоидин-парафин или чистый парафин через эфир. Последний способ заливки дал возможность получить относительно лучший результат при резке различных плотностей тканей хозяина и паразита. Серии срезов толщиной 7—10 μ были окрашены гематоксилин-эозином, железным гематоксилином по Гейденгайну, гематоксилин-пикрофуксином, азур-эозином, азокармином с докраской анилиновым синим и оранжевым или же ализариновым синим по Петерсену. В части случаев произведена микрохимическая реакция на железо по Тирману и Шмельцеру с образованием турбуллевой сини.

В течение периода кормления (10—16 суток) — вследствие механического повреждения кожи при проникновении в нее ротовых частей клещей и токсического действия слюны — в коже развивается геморрагическое воспаление, в которое вовлекаются все ее компоненты. Во всех слоях кожи возникают отек и множественные мелкие и крупные кровоизлияния; при этом страдают сосуды, проницаемость стенок которых, повидимому, резко возрастает. Поперечнополосатые мышечные волокна, располагающиеся в коже спины кроликов и морских свинок между дермой и подкожной клетчаткой, ока-

* За большую помощь в постановке опытов приношу глубокую благодарность Н. В. Иваницкой.

ываются отделенными друг от друга отечной жидкостью и очагами кровоизлияний. Мышечные капилляры расширены и гиперемированы.

Уже через 2—3 суток после начала кормления (3—5 суток после посадки клещей) в мышечных волокнах наблюдаются типичные картины ценкеровского, или восковидного, некроза, который в этих опытах протекал в двух формах: дисковидной и глыбчатой. В первом случае некротические участки волокон принимают вид либо очень тонких, либо более толстых темно-красящихся дисков (рис. 1). При глыбчатом распаде содержимое миона распадается на глыбки, большая часть которых гомогенна, имеет различную величину и форму и неправильные контуры. Глыбки интенсивно красятся железным гематоксилином и эозином. Диаметр их обычно превосходит диаметр неповрежденных волокон. Зачастую можно наблюдать переход от восковидного распада к глыбчатому по длине одного и того же волокна. В промежутках между глыбками вещество миона представляется в большей или меньшей степени измененным. Здесь имеется гомогенная или вакуолизированная слабо окрашенная саркоплазма с сохранившимися или разрушающимися миофибриллами. Особенно хорошо видны вакуоли разных размеров на поперечных разрезах мышечных волокон. Картина зернистого распада не наблюдалась. Образование темно-красящихся дисков и глыбок обусловлено, по мнению некоторых авторов, разрушением миофибрилл (0.11), другие указывают на связь глыбок и зерен с саркоплазмой (12). По В. Дмитриевой, глыбки и диски образуются из мелких зерен, представляющих собой четковидные утолщения отдельных агонально сокращенных миофибрилл, находившихся до этого в состоянии контрактуры, и зернистый, дисковидный и глыбчатый типы распада представляют собой лишь различные формы одного и того же процесса гибели волокон (13). По длине мионов заметны мелкие и крупные разрывы.

Изменения со стороны межмышечной соединительной ткани начинаются с первых же дней после посадки клещей. В ней развивается сильный отек, появляются специальные лейкоциты, количество которых со временем увеличивается. Они мигрируют из расширенных и гиперемированных кровеносных сосудов и играют значительную роль в резорбции погибших мышечных волокон. Помимо них в этом процессе принимают участие полибласты гистиогенного происхождения (макрофаги) (17). Своего максимума фагоцитоз достигает на 6—9 сутки после посадки клещей. Фагоциты гистиогенного и гемогенного происхождения, проникая внутрь распадающихся мышечных волокон, накапливаются там в больших количествах. Такие волокна представляют собой сарколеммные трубки, заполненные специальными лейкоцитами и полибластами, между которыми заметны остатки саркоплазмы и темно-красящиеся глыбки. Через 15—18 суток после посадки клещей большая часть погибших волокон уже резорбирована. На месте мионов разлагаются соединительнотканые клетки, делящиеся митотически, и встречаются крупные элементы неправильной формы с вакуолями, содержащие в цитоплазме фагоцитированные частицы. Этими частицами могут быть как участки погибших мышечных волокон, так и эритроциты из имеющихся здесь многочисленных кровоизлияний. При окраске на железо по Тирману и Имельцеру в цитоплазме этих клеток заметны разные по размерам частички урибуллевой сини.

Через 15—20 суток после посадки клещей в некоторых мышечных волокнах, так же как и в более ранние сроки, наблюдаются картины восковидного (ценкеровского) распада на различных его стадиях. Наступление дистрофических изменений в более поздние сроки можно объяснить длительностью воздействия самого повреждающего фактора — слюны, выделяемой клещами вероятно в течение всего времени их питания, вплоть до открепления, которое у некоторых особей происходило лишь на 15—16 сутки с момента посадки. Следует принять также во внимание местные нарушения обмена веществ и, возможно, иннервации.

После рассасывания погибших частей мышечных волокон из сохранив-

шихся участков мионов начинают вращать в образовавшуюся грануляционную ткань тонкие тяжи саркоплазмы с ядрами (миосимпласты). В соответствии с имеющимися данными (¹⁴), регенерация мышечных волокон проявляется в увеличении размеров ядер, потере ими крупных глыбок хроматина, содержащих дезоксирибонуклеиновую кислоту, и укрупнении ядрышек (рис. 2, б), имеющих в своем составе рибонуклеиновую кислоту. Картины фрагментации ядер и их митотического деления обнаружено не было. Ядра делятся амитозом. Ход таких прямых делений легко себе представить, сопоставляя встречающиеся здесь картины: крупное ядро с одним ядрышком, ядро с двумя более мелкими ядрышками, лежащими на противоположных его концах, ядро с намечающейся перегородкой или с перешнуровкой и, наконец, небольшие ядра, лежащие попарно одно возле другого (рис. 2, б). При этом формируются длинные цепочки ядер, лежащие в тонких миосимпластах, нередко расширенных на конце (рис. 2, а). Иногда ядра прилегают друг к другу вплотную таким образом, что поверхности их раздела имеют штопорообразный вид, а сами ядра приобретают от взаимного давления закругленно-угловатую форму (рис. 3, а). В других волокнах овальные ядра соприкасаются лишь в одной точке (рис. 3, б). Позже ядра расходятся на известное расстояние друг от друга. Часть образующихся ядер подвергается лизису и пикнозу (¹⁵). Ядра в миосимпластах отличаются друг от друга как по структуре, так и по окрашиваемости.

Наряду с растущими мионами, встречаются волокна, в которых миофибриллы заметны лишь в осевой, центральной части, а в периферической имеется лишь мелкозернистая саркоплазма (см. рис. 2, б). Эти картины, видимо, нужно трактовать как следствие дедифференцировки, регрессивных изменений отдельных мышечных волокон, или так называемой «дедифференцирующей дистрофии», отмеченной М. Г. Щербаковой в реактивно измененных волокнах скелетной мускулатуры при Е-авитаминозной диете у кроликов*.

К 25—30 дню после посадки клещей на концах регенерирующих волокон имеются массивные базофильные натеки саркоплазмы, наполненные ядрами и лишенные миофибрилл (см. рис. 2, а). Миофибриллы, первоначально гладкие, а затем и поперечнополосатые, появляются в тех участках миосимпластов, которые расположены ближе к старой сохранившейся части волокна, служащей источником регенерации, а впоследствии образуются на протяжении всего миосимпласта. На самых поздних из прослеженных сроков (2 и 4 месяца) регенерировавшие мышечные волокна отличаются от нормальных более тонким калибром. Таким образом, в поставленных опытах мышечные волокна восстанавливаются за счет разрастания самих сохранившихся мышечных элементов, что подтверждает данные большинства исследований (^{7-9, 11, 15}), а не путем превращения соединительнотканых клеток в мышечные, как это предполагали некоторые авторы (^{6, 19, 20}).

Заслуживает внимания вопрос о природе повреждения мышечных волокон. В условиях проделанных опытов не может быть и речи о механическом нарушении их ротовыми частями клещей, как это отчасти происходит в эпидермисе и дерме, ибо мышечные волокна располагаются в коже до-

* Сообщается с любезного согласия М. Г. Щербаковой.

Рис. 1. Дисковидная форма ценкеровского (восковидного) некроза мышечных волокон морской свинки, возникшего вследствие питания 10 клещей *Hyalomma asiaticum* P. Sch. et E. Schl. 10-е сутки. Формалин, железный гематоксилан, об. 90, ок. 7×

Рис. 2. Общий вид (а) и деталь строения миосимпластов кролика. Кормление 50 клещей *Hyalomma asiaticum* P. Sch. et E. Schl.: а — 30-е сутки; формалин, гематоксилан-пикрофуксин, об. 40, ок. 10×; б — 10-е сутки; формалин, азан, об. 90, ок. 10×

Рис. 3. Регенерирующие мышечные волокна в коже морской свинки. Кормление 10 клещей *Hyalomma asiaticum* P. Sch. et E. Schl. 30-е сутки: а и б — разные типы расположения ядер. Ценкер-формол, железный гематоксилан, об. 90, ок. 10×



Рис. 1

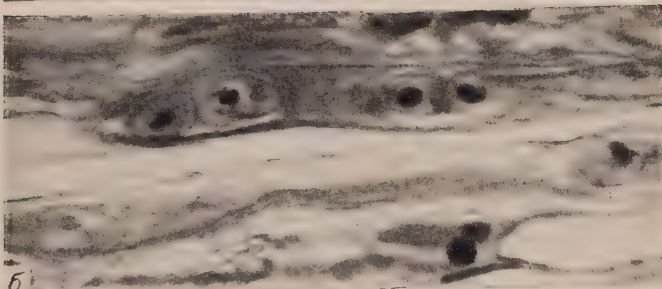
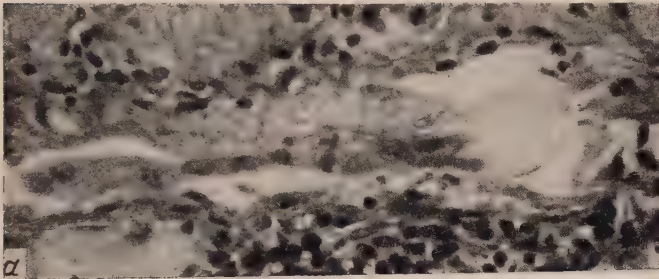


Рис. 2

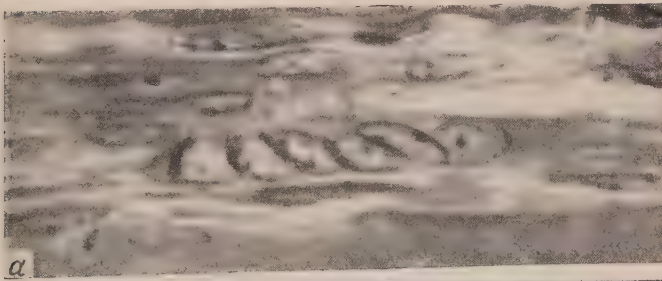


Рис. 3

точно глубоко и хоботок клеща до них не достает. Повидимому, повреждение носит комбинированный характер: местное токсическое воздействие юны клещей и влияние отека и значительных кровоизлияний в межклеточную соединительную ткань сочетаются с общим токсическим действием юны на весь организм животного и на мускулатуру в частности, а также, возможно, сопровождается повреждением нервных приборов, иннервирующих мышцы. Ликвидация всех этих повреждающих воздействий способствует скорейшему восстановлению мышечных волокон.

Таким образом, реактивные изменения мышечных волокон под воздействием питания иксодовых клещей появляются уже на 3—5 сутки, имеют длительное течение и заключаются первоначально в гибели значительных участков миононов, а затем в восстановлении мышечных волокон за счет сохранившихся их частей, т. е. проявляются характерные свойства повреждаемых и регенерирующих мышечных тканей.

Военно-медицинская Академия
имени С. М. Кирова

Поступило
5 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. Hoerpli, L. C. Feng, Nat. Med. J., 27, (1931). ² R. Hoerpli, C. Feng, Chin. Med. J., 47 (1933). ³ R. V. Talice, An. de Parasitologie, humaine comparée, 8, № 2 (1930). ⁴ Е. Н. Павловский, С. П. Алфеева, Тр. ВМА С. М. Кирова, 25 (1941). ⁵ Е. Н. Павловский, С. П. Алфеева, Изв. АН СССР, сер. биол., № 6 (1949). ⁶ F. A. Zenker, Ueber die Veränderungen der willkürlichen Muskeln im Typhus abdominalis, Leipzig, 1864. ⁷ П. И. Перемежко, Развитие поперечно-полосатых мышечных волокон из мышечных ядер, Диссертация, 1863. ⁸ С. Янович-Чайнский, Мед. вестн., 43—44 (1869). ⁹ А. Залин, О возрождении мышц при травматизме, Диссертация, СПб., 1870. ¹⁰ Н. Н. Аничков, О воспалительных изменениях миокарда, Диссертация, СПб., 1912. ¹¹ А. М. Васюточкин, Тр. 5-го Всесоюз. съезда анат., гистол. и эмбриол., 1951. ¹² М. А. Раевская, Сборн. статей пам. акад. А. А. Заварзина, Изд. АН СССР, 1948. ¹³ Е. В. Дмитриева, Арх. патол., 16, в. 4 (1954). ¹⁴ Е. В. Дмитриева, Изв. АН СССР, сер. биол., № 4 (1954). ¹⁵ Е. В. Дмитриева, ДАН, 100, № 5 (1955). ¹⁶ Ф. Ф. Татищев, А. А. Пчелкина, Изв. АН СССР, сер. биол., № 6 (1949). ¹⁷ Н. И. Татищев, О рассасывании мышц при повреждении и о происхождении миофагов. Диссертация, Казань, 1914. ¹⁸ Т. М. Коваленко, ДАН, 97, № 2 (1954). ¹⁹ V. Saur, Roux Arch., 132 (1934). ²⁰ G. Levander, Acta path. microbiol. Scand., 26 (1949).

Т. В. МИХАЛЬЧЕНКО

ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ МЕРЦАТЕЛЬНОГО ЭПИТЕЛИЯ
И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ У ТРАВЯНОЙ ЛЯГУШКИ
(*RANA TEMPORARIA* L.)

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 4 VII 1956)

В. Я. Александров⁽¹⁾ показал, что мерцательный эпителий различных холоднокровных животных обладает определенной теплоустойчивостью, одинаковой для животных одного и того же вида, взятых из разных мест обитания, и различной для животных разных видов, хотя бы и обитающих в одном и том же районе. Так, у озерной лягушки *Rana ridibunda* P., обитающей в Ленинградской области* и в более южных районах страны (Крым, Кавказ), предел теплоустойчивости мерцательного эпителия оказался совершенно одинаковым, но более высоким, чем у *Rana temporaria*, взятой из-под Ленинграда, так как озерная лягушка является формой более теплолюбивой, чем травяная.

Таким образом, была намечена связь между теплоустойчивостью тканей и температурными условиями существования вида, о которой можно судить по мерцательному эпителию. Аналогичные данные были получены при исследовании мышечной ткани⁽²⁾.

Задачей настоящего исследования было: с одной стороны, проверить данные Александрова на взрослых травяных лягушках, выдержанных в различных температурных условиях, с другой стороны, попытаться изменить температурные адаптации тканей *Rana temporaria* путем выращивания их головастиков в различных температурных условиях.

Для опытов лягушки брались под Ленинградом. Как самки, так и самцы подбирались примерно одинакового веса и размера. Взвешенные и измеренные лягушки рассаживались в аквариумы, — самок и самцов поровну в каждый. Аквариумы помещались в следующие условия температуры: 16—17° — «комнатная» группа; 26° — «теплая» группа; 3° — «холодная» группа. Все группы лягушек до использования в дальнейших опытах выдерживались в указанных температурных условиях не менее месяца. Опыты со взрослыми лягушками велись в январе, феврале, марте, ноябре, декабре 1955 г. и в январе 1956 г. Определение чувствительности мерцательного эпителия неба и пищевода взрослых лягушек к высоким и к отрицательным температурам проводилось в растворе Рингера для амфибий всегда с одинаковыми по размеру кусочками тканей (2,25 × 1,25 мм). Во всех опытах кусочки мерцательного эпителия неба и пищевода взрослых лягушек помещались в небольшие колбочки с раствором Рингера (1 мл). Далее колбочки нагревались либо охлаждались до нужной температуры в течение 3—4 мин. Кусочки тканей подвергались действию испытываемой температуры в течение 5 мин. Результат опыта определялся по мерцанию ресничек: в случае действия положительных температур через 10 мин., в случае отрицательных — через 20 мин. так как для оттаивания раствора Рингера и поднятия его температуры до комнатной требовалось 10 мин.

* Под Ленинград озерная лягушка, по данным Александрова⁽¹⁾, была завезена из южных районов страны, вероятно, не позднее 1910 г.

Все опыты по выяснению теплоустойчивости мерцательного эпителия начинались с температуры 41°, опыты же по выяснению чувствительности к отрицательным температурам начинались с температуры —2°. Разница температур между отдельными опытами была равна 0,5°.

В качестве условного предела теплоустойчивости клеток мерцательного эпителия неба и пищевода травяных лягушек различных температурных групп принималась та температура, при которой через 10 мин. по краю усочка полностью прекращалось мерцание ресничек $\frac{1}{3}$ клеток, реснички $\frac{1}{3}$ клеток мерцали аритмично, медленно и $\frac{1}{3}$ --- довольно быстро. Этот найденный предел теплоустойчивости клеток мерцательного эпителия для каждого экземпляра животных проверялся еще вторым контролем: ставились опыты с новыми кусочками мерцательного эпителия при температурах на 0,5° выше и на 0,5° ниже найденной температуры, которую мы называли «стоящей на границе с летальной». Обычно при первом пределе температуры прекращалось мерцание ресничек почти у всех клеток. Такой же предел был принят и для отрицательных температур.

Результаты исследования температурной чувствительности мерцательного эпителия лягушек каждой температурной группы сведены в табл. 1. Для каждого экземпляра определялась чувствительность мерцательного эпителия неба и пищевода, которая оказалась несколько различной. В таблице представлены средние данные из найденных нами температур, «стоящих на границе с летальной».

Таблица 1

Температурная устойчивость мерцательного эпителия неба и пищевода травяных лягушек (температура, «стоящая на границе с летальной», в °C)

Группы	Число животных	Самки				Самцы			
		высокие температуры		низкие температуры		высокие температуры		низкие температуры	
		небо	пищевод	небо	пищевод	небо	пищевод	небо	пищевод
Теплая»	20 ♀; 20 ♂	41,1	42,1	—1,8	—2,6	40,5	41,2	—1,6	—2,0
Комнатная»	20 ♀; 20 ♂	41,1	42,0	—1,6	—2,6	40,4	41,3	—1,4	—2,2
Холодная»	20 ♀; 20 ♂	40,9	41,9	—1,9	—2,6	40,6	41,5	—1,7	—2,0

Как видно из табл. 1, теплоустойчивость мерцательного эпителия пищевода почти на 1° выше теплоустойчивости неба. Затем обращает на себя внимание разница в теплоустойчивости мерцательного эпителия самцов и самок: мерцательный эпителий самцов более чувствителен к воздействиям высоких и отрицательных температур, чем мерцательный эпителий самок. Так, для неба «теплой» группы разница в теплоустойчивости составляет 0,6°. Полученные нами результаты по разной тканевой чувствительности самцов и самок подтверждают прежние данные ряда авторов (3-7).

Следует отметить, что во всех проведенных опытах ни у самцов, ни у самок не удавалось изменить границу температурной чувствительности мерцательного эпителия. Во всех температурных группах лягушек чувствительность мерцательного эпителия как к низким, так и к высоким температурам оказалась почти одинаковой, что совпадает с результатами опытов Александрова, полученными на мерцательном эпителии лягушек одного и того же вида, но взятых из различных мест обитания.

Для выяснения возможности изменения клеточной адаптации животного в процессе онтогенеза путем воспитания в условиях различной температуры мы поставили опыты на головастиках травяной лягушки. Икра получалась

методом гипофизарных инъекций (⁸⁻⁹), которые проводились в апреле и декабре 1955 г.

Развитие икры до стадии поздней гастролы и ранней нейрулы проходило при температуре 18—19° в апреле (серия I) и 13—14° в декабре (серия II) а затем одна часть икры помещалась в температуру 26° («теплая» группа) а другая часть продолжала развиваться при температуре 18—19° или соответственно 13—14° («комнатная» группа). Исследование чувствительности мерцательного эпителия неба головастиков к высоким и низким температурам проводилось всегда на той стадии развития, когда были хорошо сформированы задние конечности, а передние скрыты под жаберными крышками.

Опыты проводились по той же методике, что и с мерцательным эпителием взрослых лягушек, но в растворе Гольфретера. Все опыты по теплоустойчивости начинались с температуры 39°, опыты же по выяснению чувствительности к низким температурам начинались для «теплой» группы с температуры +2°, а для «комнатной» — с температуры 0°.

Результаты исследований температурной чувствительности клеток мерцательного эпителия неба головастиков сведены в табл. 2

Таблица 2

Температурная устойчивость мерцательного эпителия неба головастиков травяной лягушки

Группы	Число голова- стиков	Даты (месяц и год)		Температура, „стоящая на границе с летальной“ в °С	
		получения икры	проведения опытов	вы- сокая	низкая
I серия					
«Теплая»	25	IV 1955	VI 1955	40,3	+4,1
«Комнатная»	25	IV 1955	VII 1955	39,5	+0,9
II серия					
«Теплая»	25	XII 1955	I 1956	40,2	+1,8
«Комнатная»	25	XII 1955	I—II 1956	38,3	—0,5

Из данных табл. 2 видно, что теплоустойчивость клеток мерцательного эпителия неба головастиков «теплой» группы значительно выше, чем у головастиков «комнатной» группы. В опытах I серии эта разница составляет 0,8°, а в опытах II серии 1,9°. Наоборот, к низким температурам оказался более чувствительным мерцательный эпителий головастиков «теплой» группы. Так, в I серии опытов разница в чувствительности мерцательного эпителия головастиков «теплой» и «комнатной» групп оказалась равной 3,2°, а во II серии 2,3°.

Довольно значительная разница между чувствительностью мерцательного эпителия головастиков I и II серий объясняется тем, что в I серии развитие икры происходило при более высокой температуре.

Таким образом, выращивая головастиков травяной лягушки в условиях различной температуры, мы изменили чувствительность их мерцательного эпителия как к низким, так и высоким температурам. Даже сравнительно незначительная разница в температуре в 5° при воспитании головастиков «комнатной» группы дала сдвиг теплоустойчивости мерцательного эпителия, а также изменила его чувствительность к низким температурам

Изменение температурных адаптаций личинок амфибий наблюдали Давенпорт и Кестл⁽¹⁰⁾, которые содержали вышедших из икры головастиков в течение 28 дней в условиях разных температур. Тепловое оцепенение этих головастиков наступало соответственно также при разных температурах.

Полученные нами данные по тканевой адаптации личинок травяной лягушки объясняют явление одинаковой теплоустойчивости клеток мерцательного эпителия взрослых лягушек, взятых из разных широт. Вероятно, лягушки одного вида, как в более северных, так и в южных широтах начинают размножаться в одинаковых температурных условиях, что сказывается на том, что теплоустойчивость тканей взрослых животных одного и того же вида одинакова.

Следовательно, можно предположить, что границы температурной устойчивости мерцательного эпителия устанавливаются в конце эмбрионального и начале постэмбрионального развития. Изменяя температуру среды в эти периоды развития, можно изменить и предел устойчивости мерцательного эпителия.

Ленинградский государственный
педагогический институт
им. А. И. Герцена

Поступило
30 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Я. Александров, ДАН, 83, № 1 (1952). ² Б. П. Ушаков, Автореферат диссертации, Зоол. Инст. АН СССР, 1955. ³ П. Г. Светлов, ДАН, 41, № 9 (1943). ⁴ П. Г. Светлов, ДАН, 48, № 5 (1945). ⁵ П. Г. Светлов, О. В. Чекановская, ДАН, 46, № 7 (1945). ⁶ П. Г. Светлов, М. В. Иванова, ДАН, 68, № 6 (1949). ⁷ Г. П. Короткова, И. В. Шифер, ДАН, 71, № 2 (1950). ⁸ Л. А. Кащенко, Природа, 1 (1936). ⁹ П. А. Вундер, Уч. зап. Саратов. гос. ун-та, 1, в. 2 (1939). ¹⁰ G. B. Davenport, W. E. Castle, Arch. Entw. mech. d. Organ., 2, № 2 (1896).

А. Е. КРИСС

ЧИСЛЕННОСТЬ МИКРОБНОГО НАСЕЛЕНИЯ И БИОМАССА НА РАЗЛИЧНЫХ ГЛУБИНАХ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

(Представлено академиком А. И. Опариным 11 IX 1956)

Микробиологические исследования, проведенные на вертикальных разрезах через всю водную толщу от поверхности до дна в Черном⁽²⁾, Каспийском⁽⁴⁾, Охотском морях, северо-западной части Тихого океана⁽¹⁾ и в околополюсном районе Северного Ледовитого океана⁽⁵⁾, позволили ознакомиться с микробным населением различных типов морских водоемов. Черное море — внутриконтинентальный глубоководный водоем — является единственным в своем роде на нашей планете морем по своеобразию гидрологических, гидрохимических и гидробиологических условий в нем. Каспийское море характерно как крупнейшее море-озеро с глубинами до 1000 м. Охотское море (южная часть) представляет собой тип открытого морского водоема, непосредственно сообщаемого с океаном. Прилегающие к Камчатке и Курильским островам районы Тихого океана интересны в том отношении, что здесь проходит одна из самых глубоких впадин мирового океана — Курило-Камчатская впадина — с глубинами свыше 10 000 м. Северный Ледовитый океан в районе Северного полюса — это область Полярного бассейна с абиссальными глубинами, скрытая под многолетними паковыми льдами, расположенная далеко от суши.

Благодаря тому, что на микробиологических станциях в этих морях и океанах обследовались одни и те же стандартные горизонты, оказалось возможным провести сопоставления по количественному содержанию микроорганизмов на одинаковых глубинах водоемов. Существенно то обстоятельство, что определение численности и биомассы микроорганизмов проводилось с помощью методов прямого микроскопического счета, а не методами культивирования, т. е. учитывалось все микробное население, а не только размножающиеся на лабораторных средах виды, которые составляют лишь процент или доли процента от общей массы микроорганизмов в морях и океанах.

Как видно из табл. 1, средняя плотность и биомасса микробного населения различны в одних и тех же слоях воды разных типов морских водоемов. Наибольшая концентрация микробиальной жизни в слое активного фотосинтеза (0—50 м) наблюдается в Южном Каспии, затем идет Черное море, Средний Каспий, наконец, прилегающая к Курильским островам и Камчатке часть Тихого океана. Однако, за исключением района Северного полюса, везде количественное содержание микроорганизмов в слое воды, где сосредоточена растительная жизнь, колеблется в пределах 125—225 тыс. бактерий в 1 мл, или 25—45 мг/м³ воды. Резко выделяется на этом фоне количественная бедность микробного населения в Центральной Арктике (хотя микробиологические исследования проводились в разгаре арктического лета): здесь число и биомасса микроорганизмов на один порядок меньше, чем в других обследованных морских водоемах.

В нижележащих слоях воды (50—100 м, 100—200 м) концентрация микробных клеток уменьшается уже до десятков тысяч в 1 мл, а биомасса до нескольких миллиграмм на 1 м³ воды, не превышая 10 мг/м³. Эта картина

Таблица 1

Среднее количество и биомасса микроорганизмов на различных глубинах морей и океанов

Глубина воды в м	Южный Каспий			Средний Каспий			Черное море*		Тихий океан			Северный полюс	
	число станций	число бактерий в тыс. в 1 мл	биомасса (мг/м³)	число станций	число бактерий в тыс. в 1 мл	биомасса (мг/м³)	число бактерий в тыс. в 1 мл	биомасса (мг/м³)	число станций	число бактерий в тыс. в 1 мл	биомасса (мг/м³)	число бактерий в тыс. в 1 мл	биомасса (мг/м³)
0—50	9	224	44,8	7	136	27,2	167	33,6	9	125	25	9	1,8
50—100	6	52	10,4	5	39	7,7	38	7,7	9	53	10,5	6	1,2
100—200	3	19	3,8	4	17	3,4	54	19,7	9	26	5,1	3	0,6
200—500				3	5,5	1,1	69	32,0	9	6	1,1	0,6	0,1
500—750				1	1	0,2	65	38,6	9	1,2	0,24	0,2	0,05
750—1000							61	41,0	9	2	0,45	0,5	0,1
1000—1500							56	42,2	9	1,9	0,4	0,6	0,12
1500—2000							58	43,1	9	1,4	0,3	0,4	0,08
2000—3000									10	0,4	0,08	0,15	0,03
3000—4000									9	0,3	0,05		
4000—5000									5	0,2	0,03		
5000—6000										0,04	0,009		
6000—7000									2	0,06	0,01		
7000—8000									1	0,08	0,02		
8000—9000									1	0,04	0,008		

* Среднее по пяти станциям.

** Среднее по двум станциям.

наблюдается в Каспийском море и Тихом океане. В Черном море, в слое 100—200 м, начинает уже проявляться аномалия в вертикальном распределении микроорганизмов, обусловленная близостью сероводородной зоны: количество и, в особенности, биомасса микробных клеток нарастают. В Северном Ледовитом океане вблизи Северного полюса плотность микробного населения падает не с такой интенсивностью, как в других морях и океанах нормального типа, но в этих слоях она все же на порядок ниже.

Примечательно, что в слоях воды 200—500 м и 500—750 м число и биомасса микроорганизмов в Каспийском море и Тихом океане одинаковы — 6 тыс. бактерий в 1 мл, или 0,2—1,0 мг на 1 м³ воды. У Северного полюса глубиной различия в содержании микроорганизмов с внутриконтинентальными (Каспийское море) или примыкающими к суше водоемами (северо-западная часть Тихого океана) начинают уменьшаться. В слоях воды 50—3000 м в Тихом океане количество бактерий составляет уже тысячи сотни в 1 мл воды, а биомасса — десятые и сотые доли миллиграмма в м³. На этих глубинах в Центральной Арктике численность и биомасса микроорганизмов уже не на порядок меньше, а лишь в 3—4 раза. На больших же глубинах Тихого океана, приближающихся к максимальным в мировом океане, число микроорганизмов выражается в десятках на 1 мл, а биомасса в сотых и тысячных долях миллиграмма на 1 м³ воды.

Такой характер вертикального распределения численности и биомассы микроорганизмов в морских бассейнах нормального типа определяется органическим веществом в доступных для ассимиляции формах. Применение химических методов для определения органического вещества в воде выявило лишь то обстоятельство, что концентрация его не испытывает значительных колебаний с глубиной. Микробиологические исследования внесли существенные дополнения к этой картине. Оказалось, что уже в первом приближении можно органическое вещество в морях по его качественному составу разделить на следующие три группы.

1. Автолизирующиеся остатки растительных и животных организмов, находящиеся на первых стадиях разложения, поэтому легко доступные тем

гетеротрофным микроорганизмам, которые способны развиваться на лабораторных средах аналогичного состава (пептонные среды). Распределение этих остатков в водной толще морей от поверхности до дна носит гнездовой характер, определяя неравномерность, микрозональность в распространении так называемых сапрофитных микроорганизмов, т. е. микробных форм размножающихся на белковых средах.

2. Органическое вещество, подвергшееся уже ряду превращений и доступное, главным образом, тем микробным видам, которые не способны размножаться на обычных питательных средах, применяемых в микробиологической практике. Наибольшая концентрация этих форм органического вещества встречается в зоне фотосинтеза, где значительны количества продуктов обмена и распада растительного и животного планктона. Этим объясняется столь высокая плотность микробного населения в поверхностных слоях, особенно резко выраженная в слое температурного скачка.

3. Водный гумус, если понимать под этими словами формы органического вещества, трудно разлагаемые микроорганизмами. Глубже зоны фотосинтеза он, как правило, составляет основную массу органического материала, обуславливая явное уменьшение численности и биомассы микроорганизмов, которое наблюдается в нормальных водоемах во всей водной массе от 50—75-метрового горизонтов и до дна.

В кислородной зоне Черного моря характер вертикального распределения биомассы микроорганизмов летом при отсутствии вертикальной циркуляции и сильных волнений такой же, как и в нормальных морях. Самые высокие значения цифр наблюдаются в поверхностных слоях, особенно в слое температурного скачка и несколько ниже его.

Глубже 50 м происходит падение биомассы бактерий, но у верхней границы сероводородной зоны, т. е. к 125—150—200-метровым горизонтам, концентрация биомассы микроорганизмов начинает нарастать. В сероводородной зоне микробная биомасса сравнительно мало колеблется в слое воды от 200—300 м и до 1750—2000 м, т. е. до придонных областей, но что особенно важно и должно быть подчеркнуто как особенность Черного моря — это значительное превышение средней биомассы в 1 м³ воды в сероводородной зоне по сравнению с кислородной зоной.

Вместо наблюдаемого в нормальных морях уменьшения концентрации микробной биомассы с глубин 200 м и до дна в десятки, сотни и даже тысячи раз по отношению к поверхностным слоям, в Черном море кубический метр воды слоя 200—2000 м содержит в среднем в 1,5—2 раза большую биомассу микроорганизмов, чем кубический метр слоя 0—200 м.

Как видно из табл. 1, в глубинах Черного моря биомасса микроорганизмов, главным образом за счет нитевидных форм, принадлежащих к пурпурным серобактериям⁽³⁾, составляет 32—43 мг/м³. В сероводородной зоне Черного моря происходит невиданный по своим масштабам микробный синтез органического вещества за счет ассимиляции углекислоты и других неорганических соединений. Эти процессы аутоτροφной ассимиляции, осуществляемые бактериями по-видимому за счет энергии радиоактивного распада, приводят к столь значительной первичной продукции органического вещества в виде микробных клеток-аутотрофов, что она превышает продукцию органического вещества в Черном море, создаваемую фитопланктоном.

Институт микробиологии
Академии наук СССР

Поступило
14 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Крисс, В. Бирюзова, ДАН, 100, № 6, 1175 (1955). ² А. Крисс, М. Лебедева, ДАН, 89, № 5, 949 (1953). ³ А. Крисс, Е. Рукина, ДАН, 93, № 6, 1107 (1953). ⁴ А. Крисс, В. Бирюзова, Е. Рукина, ДАН, 97, № 2, 329 (1954). ⁵ А. Крисс, В. Бирюзова, А. Тихоненко, В. Ламбина, ДАН, 101, № 1, 173 (1955).

К. В. КОСИКОВ, Н. С. ГЕЛЬМАН и О. Г. РАЕВСКАЯ

РАСЩЕПЛЕНИЕ САХАРОЗЫ МАЛЬТАЗОЙ В ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТКАХ

(Представлено академиком А. И. Опариным 28 IX 1956)

Одним из авторов (^{1,2}) был описан случай, когда в процессе приспособления дрожжей *S. globosus* к сбраживанию сахарозы были получены формы, сбраживающие не только этот сахар, но и мальтозу (культура 72/349 м-4-23). При этом оказалось, что мальтоза сбраживалась значительно более интенсивно, чем сахароза. Дальнейшая проверка показала, что упомянутые формы совсем не сбраживают рафинозу. Поскольку известно, что при наличии активной инвертазы рафиноза всегда сбраживается на $\frac{1}{3}$, было высказано предположение, что в данном случае активная инвертаза отсутствует, а гидролиз сахарозы осуществляется ферментом мальтазой. Очевидно, сахароза может вызывать появление активности не только фруктозидазы (инвертазы), но и глюкозидазы (мальтазы), хотя последняя и появлялась в опыте значительно реже, чем первая.

Как показали исследования Опарина, Гельмана и Жуковой (⁴), формы *S. globosus*, приспособившиеся к сбраживанию сахарозы и мальтозы, но не сбраживающие рафинозу, не содержат активной инвертазы; они осуществляют гидролиз сахарозы ферментом мальтазой.

В связи с этим возник вопрос, имеют ли инвертазу описанные в литературе виды дрожжей, сбраживающие и сахарозу и мальтозу, поскольку выясняется, что сахароза может гидролизаться имеющейся в клетке мальтазой. В первую очередь это касается тех видов дрожжей, которые сбраживают сахарозу, но не сбраживают при этом рафинозу.

Исследованию были подвергнуты следующие виды дрожжей, полученные из Института микробиологии АН СССР: *S. paradoxus*, *S. Chevalieri*, *S. Chodati*, *S. heterogenicus*, *S. Prostoserdovi* и *S. globosus* — 74/349-1-105-18 — форма, приспособленная к сбраживанию сахарозы, но не сбраживающая мальтозу. По систематике дрожжей В. И. Кудрявцева (³), *S. paradoxus* и *S. Chevalieri* сбраживают сахарозу и рафинозу (на $\frac{1}{3}$), но не сбраживают мальтозу. К этой же группе следует отнести и полученную от *S. globosus* форму 74/349-1-105-18. *S. Chodati* и *S. Prostoserdovi* сбраживают мальтозу, но не сбраживают сахарозу и рафинозу и *S. heterogenicus* сбраживает мальтозу и сахарозу, но не сбраживает рафинозу.

Все упомянутые виды дрожжей были засеяны в среде с 6%-й сахарозой, приготовленной на дрожжевой воде и разлитой в бутылки по 300 мл. Бутылки были закрыты затворами Мейсля и содержались в термостате при 25°. В течение 16 суток производились взвешивания и по убыли в весе за счет выделения CO₂ определялась интенсивность сбраживания сахарозы.

Кривые брожения, представленные на рис. 1, показывают, что все испытывавшиеся виды дрожжей сбраживают сахарозу, однако интенсивность сбраживания этого сахара у них различная. Наиболее интенсивно сбраживают сахарозу *S. paradoxus*, *S. Chevalieri* и *S. globosus* — 74/349-1-105-18. Выделение CO₂ здесь отмечается в первые сутки. Среди остальных трех видов более интенсивно сбраживает сахарозу *S. heterogenicus*: брожение начинается на вторые сутки и идет довольно быстро. *S. Prostoserdovi* и *S. Chodati* начинают сбраживать на пятые сутки; брожение протекает медленнее, особенно в последнем случае.

Затем исследовалось наличие инвертазы и мальтазы в клетках. Для этого после окончания опыта, где производился учет сбраживания сахарозы,

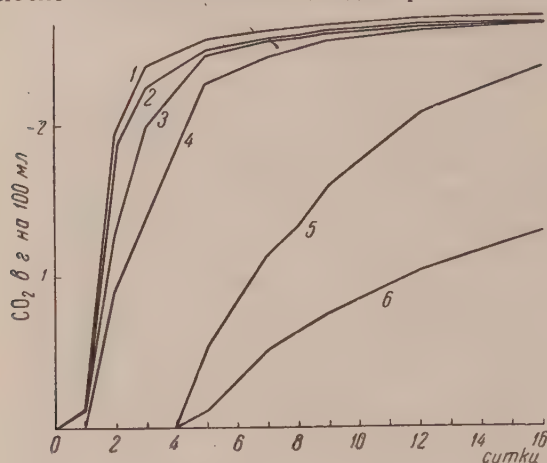


Рис. 1. Сбраживание сахарозы различными дрожжами 1—*S. paradoxus*, 2—*S. Chevalieri*, 3—74 349-1—105-18, 4—*S. heterogenicus*, 5—*S. Prostoserdovi*, 6—*S. Chodati*

козы и фруктозы, обнаруживаемых при помощи хроматографии распределения на бумаге*.

Полученные результаты представлены в табл. 1

Из табл. 1 видно, что только первые три вида имеют активную инвертазу, в то время как последние три не имеют этого фермента. Но у них установлено наличие мальтазы, в то время как у первых трех этот фермент не обнаружен. Следовательно, первые три вида осуществляли гидролиз сахарозы инвертазой, последние три — мальтазой.

Совокупность полученных экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы.

1. У видов дрожжей, обладающих ферментом мальтазой, но не сбраживающих или слабо сбраживающих сахарозу, процесс приспособления к сбраживанию последней может происходить не за счет появления активного фермента инвертазы, а за счет использования имеющегося фермента мальтазы.

2. У разных видов дрожжей процесс гидролиза сахарозы с помощью фермента мальтазы осуществляется с различной интенсивностью. Это может быть обусловлено различной проницаемостью клетки для субстрата (1).

Таблица 1

Наличие ферментов в клетках различных видов дрожжей после сбраживания ими сахарозы

Виды дрожжей	Инвертаза	Мальтаза
<i>S. paradoxus</i>	++++	—
<i>S. Chevalieri</i>	++++	—
<i>S. globosus</i> —74/349-1-105-18	++++	—
<i>S. heterogenicus</i>	—	++++
<i>S. Chodati</i>	—	++++
<i>S. Prostoserdovi</i>	—	++

Поступило
2 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. В. Косиков, Тр. Инст. генетики АН СССР, № 19 (1952). ² К. В. Косиков, Генетика дрожжей и методы селекции дрожжевых культур, Изд. АН СССР, 1954.
³ В. И. Кудрявцев, Систематика дрожжей, Изд. АН СССР, 1954. ⁴ А. И. Опарин, Н. С. Гельман, И. Т. Жукова, Биохимия, 20, в. 5 (1955).

* Выражаем благодарность И. Г. Жуковой за проведение данного опыта.

К. Ив. МАРКОВ и Г. К. САЕВ

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СТАФИЛОКОККОВ ПРИ ИХ АДАПТАЦИИ К ПЕНИЦИЛЛИНУ

(Представлено академиком А. И. Опариным 11 IX 1956)

Исходя из установленных изменений кислотной агглютинации адаптированных к пенициллину стафилококков ⁽¹⁾, мы поставили себе задачу изучить изменения электрокинетического потенциала стафилококков в процессе их адаптации к пенициллину.

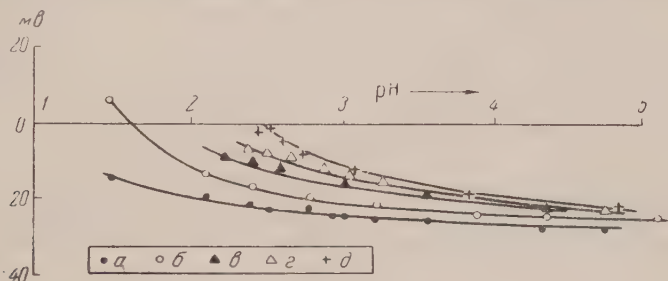


Рис. 1. *Staphylococcus aureus*, штамм 209: а — исходная устойчивость 0,03 Е на 1 мл пенициллина; б — 112 Е/мл; в — 1800 Е/мл; г — 5000 Е/мл; д — 5000 Е/мл после 7 месяцев ежедневных пассажей

Электрокинетический потенциал (ЭКП) определялся по разработанной для этой цели методике ⁽²⁾. Исследованные штаммы культивировались на обыкновенном агаре, после чего микроорганизмы смывались дистиллированной водой, промывались центрифугированием и помещались в ряд десятикратно разбавленных буферов Кларка и Лабса, после чего определялось значение рН смесей. Через шесть часов определялась электрофоретическая подвижность микробов в специально изготовленной камере с электродами из распыленной платины. Из полученных результатов определялся ζ-потенциал при средней ошибке определения не более 14%. Так как в наших опытах производился ряд отсчетов, то ошибка на каждое измерение не превышала 7%.

Пять штаммов *Staphylococcus aureus* с исходной устойчивостью 0,0007—0,03 Е на 1 мл пенициллина адаптировались до тех пор, пока они достигли устойчивости в 2600—5000 Е на 1 мл пенициллина. Адаптация достигалась ежедневными пассажами штаммов через ряд пробирок, содержащих обыкновенный бульон с нарастающей концентрацией антибиотика. Было замечено, что с увеличением устойчивости микроорганизмов изoeлектрическая точка (ИЭТ) всех штаммов передвигалась от рН ~ 1 к рН > 2 . На рис. 1 представлены результаты для *St. aureus* 209 с начальной устойчивостью 0,03 Е на 1 мл пенициллина, при повышении устойчивости до 112, 1800, 5000 Е на 1 мл. После достижения устойчивости 5000 Е на 1 мл пенициллина штамм ежедневно пересеивался на эту концентрацию пенициллина в течение

7 месяцев, после чего были снова произведены измерения, при которых отмечено дополнительное смещение ИЭТ.

Проведенные исследования ряда устойчивых к пенициллину штаммов, выделенных при патологических процессах, дали аналогичные результаты. Замечено, что у устойчивых к пенициллину стафилококков ИЭТ находится около рН 1,5—3, в то время как у чувствительных к пенициллину штаммов она соответствует $\text{pH} < 1,5$. Однако строгая количественная связь между степенью устойчивости и ИЭТ не установлена.

Влияние пенициллина на ЭКП стафилококков изучалось давно ⁽³⁾, в то время как исследования ЭКП адаптированных к пенициллину стафилококков нам не известны.

Обнаруженные нами изменения ЭКП стафилококков в результате их адаптации к пенициллину можно рассматривать как выражение происходящего на поверхности бактерий изменения соотношения между сильно кислыми, слабо кислыми и щелочными группами — в пользу последних. Это находится в соответствии с существующими данными о наличии у стафилококков поверхностно расположенного пенициллиносвязывающего компонента ⁽⁴⁾. Изменениями на поверхности бактерий можно объяснить и известный факт исчезновения грам-положительной окраски у устойчивых к пенициллину стафилококков. Очевидно, от состояния поверхности бактерий зависит и устойчивость их к пенициллину.

Высший медицинский институт
София, Болгария

Поступило
7 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ К. Марков, Докл. на 3-й научн. сессии ВМИ, София, 1953. ² К. Марков, Г. Саев, Сьвр. мед., № 4, 59 (1954). ³ Е. Молдавская, Т. Касторская, Р. Засыпкина, Биохимия, 10, 407 (1945). ⁴ A. V. Few, P. D. Cooreg, D. Rowley, Nature, 169, 283 (1952).

АНАТОМИЯ РАСТЕНИЙ

Л. И. ВИГОРОВ

ОБРАЗОВАНИЕ АЛЕЙРОНОВЫХ ЗЕРЕН В ЗЕРНОВКАХ ПШЕНИЦЫ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 IX 1956)

Алейроновые зерна, сосредоточенные в периферических клетках эндосперма зерновок пшеницы, представляют собой запас специфических белков, отличных от белков клейковины (¹, ²) и обогащенных большим количеством разнообразных ростовых веществ. Отлагаются алейроновые зерна у пшеницы, как и у других злаков, в виде правильных шарообразных белковых тел, преимущественно одинаковых размеров, не имеющих видимых микроструктур (³). Цитологические данные об образовании алейроновых зерен пшеницы ограничены. Имеются указания, согласно которым алейроновые зерна зерновки пшеницы формируются тем же путем, что и в семенах бобовых растений, т. е. происходит заполнение плазмменных вакуолей белковыми веществами с последующим их уплотнением в сферические тела (⁴⁻⁶). Наши исследования показывают, однако, иной путь образования алейроновых зерен у пшеницы, а именно — формирование их путем разрастания микросом. Указания на этот генезис алейроновых зерен делались и ранее (⁷). На зерновках пшениц, взятых в разных фазах роста, можно проследить последовательный ряд превращений типичных микросом в типичные алейроновые зерна взрослых клеток. При этом непрерывность генетического ряда органоидов клетки, приводящего к метаморфозу микросом в алейроновые зерна, можно проследить не только непосредственными микроскопическими наблюдениями, но и при помощи цитомикрoхимических реакций. Ниже мы излагаем данные этих наблюдений.

Для исследования были взяты зерновки мягких пшениц Лютесценс-62 и Мильтурум Диамант в следующих фазах: (в скобках — дни после цветения; общая длительность периода от цветения до созревания 30 дней): I фаза (6—7) — молодое белое водянистое зерно пирамидальной формы с яркозеленой бороздкой, объемом $\frac{1}{3}$ окончательного; II фаза (12—14) — зерно $\frac{2}{3}$ конечной величины, белое, опушенное, с жидким содержимым центральной части эндосперма; III фаза (18—21) — зерно нормальной величины, белесое, с полужидким эндоспермом, эмбрион ~ 1 мм, раздавливающийся, полупрозрачный (хозяйственная оценка — фаза «молочной» спелости); IV фаза (23—25) — зерно нормальной величины, зеленое, глянцевитое с плотным эмбрионом и тестовидным эндоспермом («зеленая» спелость). Срезы свежих нефиксированных зерновок просматривались в капле воды и 50%-м растворе сахарозы (600 и 1000×).

Окрашивание гомологического ряда органоидов: микросомы — переходные зерна — алейроновые зерна (янусовой зеленью (ЯЗ). Краситель (0,01%-й водный раствор) удобен для диагностики перехода микросом в алейроновые зерна, поскольку он энергично адсорбируется микросомами, а по мере их разрастания и превращения в алейроновые зерна поглощение красителя уменьшается. В зерновках I фазы в протоплазме клеток алейронового слоя, только что закончивших деления (отдельные клетки, особенно вблизи бороздки, еще продолжают делиться), видно большое число микросом (порядка 100 и

более на клетку) примерно одного размера; лишь одиночные микросомы превышают средний тип в 2—3 раза (рис. 1, а). ЯЗ красит микросомы в темносиний цвет.

В зерновках II фазы наблюдается увеличение количества разрастающихся микросом, составляющих 20—30% от общего их числа (рис. 1, б). Размер этих увеличивающихся микросом («переходные зерна») превышает исходный в 3—4 раза и составляет $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ от величины алейроновых зерен, полностью сформировавшихся в зрелых зерновках пшеницы. Микро-

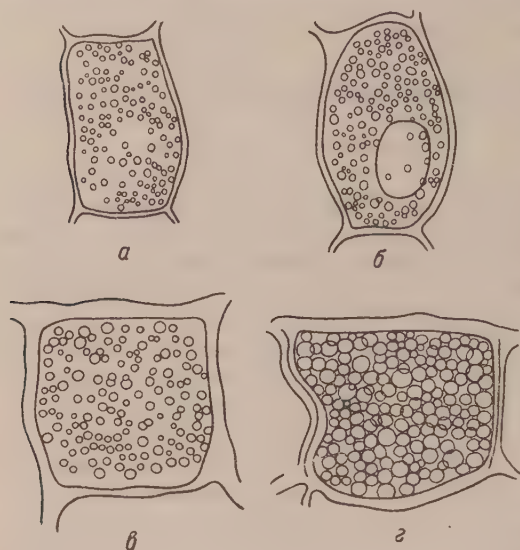


Рис. 1

сомы и «переходные» зерна окрашиваются ЯЗ в синий цвет. Общее количество микросом и «переходных» зерен в клетке на этой фазе близко к общему количеству алейроновых зерен в клетках спелых зерновок, в чем можно убедиться, подсчитывая их число при выдавливании содержимого частично перерезанных клеток в раствор щелочи, в котором они раздвигаются. Плазма клеток на этой фазе сильно разжижена, и в ней наблюдается оживленное броуновское движение микросом, масштаб которого и отсутствие определенных локализаций перемещений свидетельствует против наличия вакуолярной системы с количеством вакуолей, соответствующим итоговому числу образующихся

алеироновых зерен. «Переходные» зерна обнаруживают меньшую амплитуду перемещений. В зерновках III фазы соотношение мелких и разрастающихся микросом изменяется на обратное, и первых становится втрое меньше, чем вторых (рис. 1, в). Размер максимально разросшихся микросом (т. е. молодых алейроновых зерен) составляет в это время $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ от конечного среднего размера алейронового зерна. При окрашивании ЯЗ начинают наблюдаться дифференциация. Еще не разросшиеся микросомы продолжают окрашиваться в темно-синий цвет, разросшиеся — окрашиваются в светло-синий. Одиночные крупные зерна утрачивают способность интенсивно окрашиваться.

В зерновках IV фазы в клетках алейронового слоя наблюдаются сферические алейроновые зерна нормальной величины, окрашиваемые ЯЗ в бледно-синий цвет. Система алейроновых зерен полностью сформирована (рис. 1, г). Наряду с алейроновыми зернами в клетках наблюдается небольшое число микросом (около $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{10}$ исходного их числа), интенсивно окрашиваемых ЯЗ. Известно, что эти «остаточные» микросомы наблюдаются и в клетках алейронового слоя зрелых зерновок пшеницы. В этой фазе клетки алейронового слоя отличаются от зрелых клеток лишь более пластичным (студневидным) состоянием протоплазмы, заполняющей пространство между алейроновыми зернами, и меньшей оптической четкостью зерен в связи с их большей оводненностью. Никаких двориков, или остатков вакуолярных полостей, вокруг разрастающихся микросом и молодых алейроновых зерен констатировать при работе с нефиксированными препаратами не удастся. Их появление на препаратах, обработанных различными фиксаторами и растворителями, истолковываемое как указание на вакуолярную природу алейроновых зерен, может быть артефактом, связанным с контракцией гидратированных молодых белковых алейроновых зерен.

Таким образом, при формировании зерновки пшеницы происходит превращение микросом алейроновых клеток в алейроновые зерна. По мере отложения белка в растущих микросомах их окрашиваемость ЯЗ снижается. Следовательно, микросомы клеток алейронового слоя являются органоидами, осуществляющими синтез специфических белков зерновки⁽⁸⁾. Наиболее быстрое разрастание микросом и отложение в них белка осуществляется в непродолжительный период между III и IV фазами роста зерна.

Характерно, что формирующиеся алейроновые зерна на всех фазах их роста отличаются значительной устойчивостью и, очевидно, характеризуются не растворенным каплевидным, а студневидным состоянием белковых веществ. Об этом свидетельствует их поведение в кислотах и щелочах. При помещении срезов (зерновки II фазы) в концентрированную серную кислоту можно наблюдать, как в расплывающемся протопласте с 2—3-й минуты начинают набухать и превращаться в бесцветные каплевидные образования молодые зерна, микросомы же еще остаются целыми. При помещении алейроновых клеток той же фазы в 10—30%-й раствор NaOH протопласты частично перерезанных клеток разжижаются, микросомы и разрастающиеся алейроновые зерна освобождаются из плазмы и расходятся в разные стороны. Постепенно, в течение 3—5 минут, часть молодых алейроновых зерен разбухает и растворяется. Такое поведение зерен также говорит в пользу их не вакуолярного происхождения, свидетельствует об их более плотном студневидном состоянии и доказывает, что они не являются каплями жидкого белка, отделенными от плазмы легко разрушающимся онопластом.

Химический состав алейроновых зерен по мере их роста меняется, поскольку, например, на ранних фазах (II фаза роста зерновки) они дают отрицательную реакцию Распайля, характерную для зерен спелых зерновок. Зато плазма клеток на этой фазе при проведении реакции Распайля окрашивается в интенсивный красный цвет, и, следовательно, перемещение рибитофана из протоплазмы в алейроновые зерна происходит на более поздних фазах роста зерновки.

Условия, определяющие образование микросомами белка и крахмала. Как было показано В. и О. Александровыми⁽⁹⁾, в эндоспермальной ткани зерновок пшеницы происходит превращение части микросом в мелкие крахмальные зерна (хондриосомный крахмал). Возникает вопрос, в связи с чем одинаковые органоиды клеток в одном случае превращаются в белок (в алейроновом слое), в другом — в крахмал (откладывается в толще клейковинных белков в клетках крахмалистого эндосперма). Различный тип синтеза может определяться комплексом ферментов (амилазный и протеазный), сосредоточенных в морфологически одинаковых микросомах различных тканей. Другим условием является внутренняя среда, т. е. внутриклеточный режим, определяющий поведение микросом. Для получения сведений об условиях, определяющих синтез белков растущими алейроновыми зернами и образование белков клейковины, был исследован для тех же фаз роста зерновок пшеницы внутриклеточный режим клеток алейронового слоя и крахмалистого эндосперма. Для II и III фаз получены следующие данные.

1. Адсорбция красителей. При окрашивании водным раствором нейтрального красного (основной краситель) наблюдается интенсивное поглощение последнего плазмой алейроновых клеток (протопласт окрашивается в светло-красный цвет) и слабая адсорбция красителя плазмой клеток крахмалистого эндосперма (бледно-розовое окрашивание). При использовании кислого фуксина, наоборот, интенсивно окрашивается плазма крахмалистых клеток. Таким образом имеет место неодинаковое поглощение кислых и основных красителей белковыми массами протопластов клеток двух соседних тканей, характеризующихся неодинаковыми превращениями микросом. Плазма алейроновых клеток отличается базофилией, а клеток крахмалистого эндосперма — ацидофилией.

2. Изоэлектрическая точка (ИЭТ) плазмы. При определении ИЭТ методом окрашивания кислым и основным фуксином в фосфатном буфере с различным рН найдено, что протоплазма алейроновых клеток зерновок на средних фазах роста (III) отличается менее кислой ИЭТ. В это время для плазмы алейроновых клеток установлено ИЭТ $\text{pH} \sim 5,0$, а для клеток крахмалистого эндосперма $\text{pH} \sim 4,5$.

3. Окислительно-восстановительный режим плазмы. При окрашивании срезов зерновок III фазы водным раствором дихлорфенолиндифенола (гН 21,3) в первые секунды протопласты клеток алейронового слоя окрашиваются в лиловый цвет, а крахмалоносного слоя — в чисто-синий. Через 4—5 мин. плазма алейроновых клеток редуцирует краситель и обесцвечивается, плазма крахмалоносных клеток остается окрашенной. Позже, через 10—15 мин. начинается обесцвечивание и этих клеток, распространяющееся от рядов, ближайших к алейроновому слою. Наименьшее обесцвечивание наблюдается в центральной части зерновки, где плазма остается окрашенной еще через 15—20 мин. При окрашивании срезов водным раствором тионина (гН 16,0) алейроновая ткань быстро редуцирует краситель и не окрашивается им. Плазма крахмалоносных клеток не редуцирует тионин и окрашивается в светло-фиолетовый цвет в периферических слоях и в ярко-фиолетовый — в центральной части зерновки. Метиленовая синь (гН 14,4) не редуцируется и окрашивает протопласт клеток алейронового слоя в чисто-фиолетовый цвет, а крахмалоносного слоя от сине-фиолетового (периферические ряды клеток) до синего (более глубокие слои). Таким образом, восстановительный режим в клетках алейронового слоя значительно выше, чем в клетках крахмалистой ткани.

Из полученных данных следует, что внутриклеточный режим клеток алейроновой мантии и крахмалистой ткани зерновки неодинаков, что и является причиной различных трансформаций микросом, превращающихся в одном случае в белковые массы (высокий восстановительный режим, адсорбция основных молекул), в другом — в мелкие крахмальные зерна (низкий восстановительный режим, слабая адсорбция основных веществ). Известно, что синтез белков зависит от окислительно-восстановительного режима (10^{-12}), что согласуется с полученными данными.

Итак, образование алейроновых зерен у пшениц имеет микросомную, а не вакуолярную природу, в отличие от типа образования алейроновых зерен бобовыми растениями. Возможно, что это общесистематический признак, различающий злаковые и бобовые растения.

Поступило
15 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Л. Кретович, Сборн. Биохимия и микробиология пшеницы, в. 13, 70 (1934).
² D. B. Jones, C. E. F. Gersdorf, J. Biol. Chem., 64, 241 (1925). ³ Л. И. Вигоров, ДАН, 98, 479 (1954). ⁴ В. Г. Александров, О. Г. Александрова, Изв. АН СССР, сер. биол., № 4, 87 (1953). ⁵ Я. С. Модилевский, Эмбриология покрытосеменных растений, Киев, 1953. ⁶ Е. Леман, Ф. Айхеле, Физиология прорастания семян злаков, 1936. ⁷ D. M. Mottier, Ann. of Bot. 35, 349 (1921). ⁸ А. Л. Курсанов, Действие ферментов в живой клетке, Сборн. Ферменты, Изд. АН СССР, 1940.
⁹ В. Г. Александров, О. Г. Александрова, Анатомия зерна пшеницы, 1950. ¹⁰ K. Mothes, Flora, 28, 58 (1933). ¹¹ K. Raesch, Planta, 24, 78 (1935). ¹² Д. А. Сабинин, Физиологические основы питания растений, Изд. АН СССР 1955.

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Е. А. ДОРОГАНЕВСКАЯ

**О СТОЙКОСТИ КАТАЛАЗЫ РАСТЕНИЙ К ПОВЫШЕНИЮ
ТЕМПЕРАТУРЫ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 IX 1956)

При изучении эколого-географической изменчивости некоторых свойств ландшафтных растений, проводившемся в районе Тянь-Шаньской географической станции, определялась и активность фермента каталазы. При выполнении определений, связанных с общей целью работы, попутно были замечены некоторые явления, характеризующие зависимость этого фермента от условий внешней среды. В литературе встречаются указания на связь между деятельностью каталазы и температурой (^{1, 2, 7, 9} и др.). В частности, обнаружено, что температура влияет не только на величину активности каталазы (а. к.) у растений, но и на стойкость фермента (^{3, 8}).

Реакция различных растений на температурные условия неодинакова. Ю. А. Семихатова (⁷), работавшая в близкой к Тянь-Шаню горной стране, — исследуя термические коэффициенты каталазы памирских растений, — нашла, что по этому признаку различаются не только отдельные виды, но и целые экологические группы.

Мы определяли а. к. у различных растений параллельно при двух температурах 15° и 25° в термостате по применявшейся нами ранее методике (¹⁰). Как показывают данные, приведенные в табл. 1, стойкость а. к. к повышению температуры (при отсчете на 5-й мин.) неодинакова не только у различных растений, но даже у одного и того же растения в повторных опытах.

Таблица 1

Активность каталазы у растений при разных температурах в опыте

Дата	Растение	Активность каталазы		
		при 15°	при 25°	разница
22 VII 1953	Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>)	19,0	19,7	+0,7
22 VII 1953	Мятлик однолетний (<i>Poa annua</i>)	16,3	18,7	+2,4
19 VII 1954	Герань холмовая (<i>Geranium collinum</i>)	4,8	6,3	+1,5
23 VII 1954	То же	11,5	10,7	—0,8
14 IX 1954	Житняк гребневидный (<i>Agropyrum pectiniforme</i>)	5,9	6,8	+0,9
9 VII 1954	Полынь тянь-шаньская (<i>Artemisia tianschanica</i>)	7,5	7,2	—0,3
18 VI 1955	То же	7,0	6,6	—0,4

В результате многих опытов сложилось впечатление, что существуют и возрастные различия в стойкости каталазы к температуре. У молодых растений с высокой а. к. она чаще оказывалась больше, чем у старых с не-

Отзывчивость а. к. различных растений на изменения температуры опыта в разные часы дня

Дата	Растение	Время сбора	Количество выделившегося O ₂ в мл					
			t °C	через 1 мин.	через 2 мин.	через 5 мин.	через 10 мин.	через 15 мин.
23 VII 1954	Герань холмовая	9 ²⁰	15	3,2	5,9	11,5	15,7	17,5
			25	4,2	6,7	10,7	13,2	14,5
		Разница	1,0	0,8	— 0,8	— 2,5	— 3,0	
			11 ⁵⁰	15	2,7	4,7	9,4	13,8
25	4,1	7,1		10,6	12,9	14,1		
14 VII 1954	Полынь тьянь- шаньская	8 ¹⁵	15	2,1	3,3	6,5	9,3	11,0
			25	2,5	3,6	5,6	7,0	7,8
		Разница	0,4	0,3	— 0,9	— 1,7	— 3,2	
			12 ²⁵	15	1,6	3,1	6,0	8,8
25	3,3	4,5		7,0	8,4	9,2		
2 VIII 1954	Полынь тьянь- шаньская	10 ⁰⁰	15	1,6	2,9	6,2	10,3	12,2
			25	3,4	4,9	7,9	10,5	11,9
		Разница	1,8	2,0	1,7	0,2	— 0,3	
			13 ³⁰	15	3,0	5,2	10,1	14,4
25	5,2	8,1		12,8	15,8	17,1		
1 VIII 1955	Герань холмовая, в саду	10 ³⁰	15	3,0	4,6	8,0	11,3	—
			25	3,6	6,2	9,1	11,6	—
		Разница	0,6	1,6	1,1	— 0,3	—	
			13 ⁵⁰	15	3,7	5,3	9,9	14,8
		25		4,7	8,7	12,7	15,0	16,0
		Разница	1,0	3,4	2,8	0,2	— 1,1	
			16 ³⁵	15	3,7	6,1	10,8	15,1
		25		4,4	7,0	11,2	12,7	—
		Разница	0,7	0,9	0,4	— 2,4	—	
			11 ³⁰	15	3,3	5,3	10,4	15,5
		25		5,3	8,6	12,8	14,7	15,8
		Разница	2,0	3,3	2,4	— 0,8	— 0,9	
15 ³⁰	15		3,1	5,7	11,2	15,5	17,1	
	25	5,9	9,7	14,0	15,9	16,9		
Разница	2,8	4,0	2,8	0,4	— 0,2			
	17 ¹⁰	15	2,6	5,0	9,2	12,8	—	
25		4,0	6,6	10,3	12,2	—		
Разница	1,4	1,6	1,1	— 0,6	—			

Таблица 2 (продолжение)

Дата	Растение	Время сбора	Количество выделившегося O ₂ , в мл					
			t °C	через 1 мин.	через 2 мин.	через 5 мин.	через 10 мин.	через 15 мин.
17 VII 1954	Пырей ползучий	9 ³⁰	15	5,5	9,3	16,5	19,5	—
			25	3,2	12,1	16,2	18,0	—
		11 ⁵⁰	Разница	2,7	2,8	—0,3	—1,5	—
			15	4,8	8,0	15,3	19,0	19,6
		15 ⁰⁰	25	8,3	12,4	16,9	19,3	19,6
			Разница	3,5	4,4	1,6	0,3	0,0
	Клевер луговой	9 ³⁰	15	6,3	10,2	17,3	18,8	—
			25	8,6	11,1	17,1	18,5	—
		11 ⁵⁰	Разница	2,3	0,9	—0,2	—0,3	—
			15	6,0	9,3	14,7	17,5	—
		15 ⁰⁰	25	6,8	9,5	11,1	11,8	—
			Разница	0,8	0,2	—3,6	—5,7	—

высокой величиной этого показателя. Это наблюдалось, например, при сравнении а. к. в один и тот же день у возрастно-различных экземпляров плодоносящей манжетки со склонового и долинного лугов. Амплитуда а. к. у более старой манжетки со склонового луга была меньше, чем у манжетки с долинного луга (наблюдения 26 VII 1956):

	В листьях	В плодах	Темп. возд. у почвы в °C
Луг долинный	5,5	3,5	16,6
Луг склоновый	3,7	2,4	18,7

Устойчивость каталазы к повышению температуры меньше у растений с мягкими, нежными листьями. Это наблюдалось, например, при сравнении клевера и пырея (табл. 2).

Приведенные данные показывают еще одну особенность а. к.: возрастные стойкости каталазы к повышению температуры среди дня и снижение ее к вечеру. Особенный интерес представляют наблюдения над полынью (*Artemisia tianschanica*). Они проводились, чтобы проследить существование связи между стойкостью каталазы к температуре и конкретными условиями среды в пасмурную, дождливую погоду. Этой связи найдено не было: определение условий тепла и влаги в травостое показало, что изменения стойкости каталазы к температуре происходили у растения, находившегося при очень выравненном ходе внешних факторов (температура у почвы 21,2—22,8°, над травостоем 19,4—19,8°, относительная влажность 69—71%).

В том, что, несмотря на отсутствие повышения температуры среди дня, стойкости каталазы к этому фактору все же увеличилась, можно усмотреть проявление наследственно сложившегося ритма ферментной деятельности, приспособленного к естественному дневному ходу внешних условий. Подтвержденное большим количеством опытов возрастание стойкости каталазы к повышению температуры среди дня, независимо от конкретных условий погоды, по-видимому, можно считать проявлением общей биологической закономерности. Достоверность этого предположения подтверждается рядом работ Б. А. Рубина с сотрудниками (4-6), в которых развивается мысль о приспособительном характере действия ферментов в зависимости от температуры.

Дальнейшие более детальные наблюдения обнаружили значительную усложненность этой, казавшейся на первый взгляд простой зависимости. Большая изменчивость дневного хода а. к. приводит к тому, что и динамика стойкости ее к повышению температуры теряет ту четкость, которая наблюдалась при трехкратных определениях в течение дня, но максимум стойкости среди дня сохраняется.

В связи с общей целью исследования было интересно выяснить, существуют ли в проявлениях рассматриваемой закономерности экологические различия. Такие различия наблюдались, например, в опыте с геранью от I VIII 1955 г. (табл. 2).

На открытых, лучше освещаемых и прогреваемых местообитаниях а. к. у герани и стойкость ее к повышению температуры больше, чем в затененных. Аналогичные экологические различия наблюдались и в других случаях. Например, стойкость каталазы к повышению температуры у полыни во влажном местообитании была выше, чем в местообитании сухом.

Институт географии
Академии наук СССР

Поступило
26 I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Бах, Собр. трудов по химии и биохимии, М., 1950. ² А. В. Благовещенский, Биохимические основы эволюционного процесса у растений, М.—Л., 1950. Е. А. Макаревская и др., Тр. Тбилиск. бот. инст., 10 (1940). ⁴ Б. А. Рубин и др., Биохимия, 10, № 1 (1945). ⁵ Б. А. Рубин и др., ДАН, 60, № 4 (1948). ⁶ Б. А. Рубин и др., ДАН, 67, № 5 (1949). ⁷ О. А. Семихатова, Изв. АН Тадж. ССР, Отд. естеств. наук, № 1 (1952). ⁸ Н. Euler, J. Euler, Arkiv Kemi, Miner., Geol., 26A, № 22 (1948). ⁹ S. Morgulis J. Biol. Chem., 92, 377 (1931). ¹⁰ Е. А. Дороганевская, ДАН, 111, № 5 (1956).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. Г. НИКОЛАЕВА

**К ВОПРОСУ О РОЛИ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ
В ПРОРАСТАНИИ ПОКОЯЩИХСЯ СЕМЯН**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 IX 1956)

Покоящиеся семена многих растений прорастают только после более или менее длительной стратификации при пониженной температуре (0—10°). Несмотря на многочисленные попытки выяснить роль низкой температуры в снятии покоя семян, этот вопрос еще далек от разрешения. Согласно представлениям, развиваемым в настоящее время А. В. Благовещенским (¹, ²), прорастание покоящихся семян вызывается накоплением в тканях под влиянием холода так называемых биогенных стимуляторов, активизирующих деятельность ферментов. Предполагается, что по своей химической природе они являются органическими кислотами. В качестве доказательства приводятся опыты по повышению качества ферментов и ускорению роста проростков маша под влиянием вытяжек из охлажденных тканей, с одной стороны, и чистых растворов органических кислот — с другой (³, ⁵, ⁶). В литературе можно найти отдельные общие указания на ускорение прорастания покоящихся семян путем намачивания их в растворах как органических, так и неорганических кислот (⁴, ⁷). Однако прямых опытов по стимуляции прорастания покоящихся семян таким путем пока еще нет. Наши трехлетние попытки заменить или хотя бы сократить период холодной стратификации семян нескольких видов ясеня, бересклета и клена обработкой их слабыми растворами органических кислот не дали положительного результата. К этому следует добавить, что о содержании и динамике органических кислот в покоящихся и стратифицированных семенах ничего не известно.

В связи со сказанным нами была предпринята попытка выяснить зависимость состава и содержания в семенах органических кислот от свойств и условий стратификации семян. Для работы были взяты воздушно-сухие семена, имеющие различный характер прорастания: семена чечевицы, прорастающие при благоприятных условиях быстро и дружно; семена клена гиннала, имеющие сравнительно неглубокий покой, связанный со свойствами покровов зародыша; семена бересклета европейского, которым свойствен глубокий покой, зависящий от состояния зародыша и эндосперма. Если для прорастания семян клена гиннала низкая температура не является необходимой, то семена бересклета прорастают только после длительной стратификации сначала в тепле (2—3 месяца при 15—20°), а затем на холоде (3—4 месяца при 0—10°). Наряду с воздушно-сухими семенами исследовались также семена (бересклет), подвергавшиеся стратификации в течение 6 месяцев при различном температурном режиме: 1) при 0—2°, 2) при 15—20° и 3) 2 месяца при 15—20° и 4 месяца при 0—2°. В последнем варианте непроросшие и проросшие семена анализировались отдельно.

Кислоты экстрагировались в течение 45—50 часов из 2 г абсолютно-сухих размельченных семян очищенным и обезвоженным серным эфиром, извлекались водой и разделялись методом хроматографии на бумаге. Во всех пробах, за исключением семян клена, одновременно определялось общее

содержание органических кислот титрованием пробы из водной вытяжки 0,01 *n* NaOH. Разделение производилось как на круглых (диаметром 20 см), так и на ленточных восходящих хроматограммах. Растворителем служил *n*-бутиловый спирт, насыщенный водным раствором муравьиной кислоты, проявителем — бромфенол синий. Опыт показал, что круглые хроматограммы дают быстрое (2—3 часа) и вполне отчетливое разделение кислот. Затруднения, существующие при применении метода бумажной хроматографии к исследованию органических кислот (образование «хвостов», зависимость R_f от концентрации и т. д.), были в значительной мере преодолены выбором подходящих разведений. Для каждой пробы было получено свыше 10 круглых и 4—5 ленточных хроматограмм. При идентификации кислот учитывалось положение пятна как на тех, так и на других хроматограммах.

Помимо изучения состава обычных кислот жирного ряда, была сделана попытка исследовать содержание в семенах ароматических кислот. Последние извлекались из эфира 2%-м раствором соды, высушивались, переводились в свободную форму и хроматографировались с помощью различных кислых и щелочных растворителей. Было установлено присутствие во всех исследованных пробах семян большего или меньшего количества ароматических кислот, но разделить и идентифицировать их не удалось.

Таблица 1

Общее содержание органических кислот в семенах

Растение и условия стратификации семян	Количество 0,01 <i>n</i> NaOH	
	в мл на 1 г абс. сухих семян	в %
Бересклет; воздушно-сухие	19,3	100
Бересклет; 6 мес. при 0—2°	20,8	108
То же, 6 мес. при 15—20°	25,5	132
То же, 2 мес. при 15—20° и 4 мес. при 0—2° (непроросшие)	27,9	145
То же (проросшие)	26,6	138
Чечевица; воздушно-сухие	15,1	78

Таблица 2

Состав органических кислот в семенах

Кислота	Воздушно-сухие семена			Стратифицированные семена (бересклет)			
	чечевица	клен гиннала	бересклет европейский	0—2°	15—20°	2 мес. 0—2° и 4 мес. 15—20°	
						непроросшие	проросшие
X	+	?	+	+	+	+	+
Y	+	+	+	+	+	+	+
Щавелев. (?)	+	+	+	+	+	+	+
Z	+	+	+	+	+	+	+
Лимонная	+	+	+	+	+	+	+
Яблочная	+	+	+	+	+	+	+
Янтарная	+	+	+	+	+	+	+

В воздушно-сухих семенах чечевицы и, особенно, бересклета содержится довольно значительное количество органических кислот (табл. 1). У семян бересклета, подвергавшихся в течение 6 месяцев холодной стратификации, увеличения содержания органических кислот не произошло. В то же время теплая стратификация вызвала заметное увеличение их количества. Содержание органических кислот в семенах, прошедших стратификацию при переменном температурном режиме и вышедших из состояния покоя, было лишь немногим выше, чем в семенах, подвергавшихся только теплой стратификации.

Состав органических кислот в семенах, как показали результаты хроматографии (рис. 1 и 2 и табл. 2), не отличается большим разнообразием. В воздушно-сухих семенах клена было установлено всего 3 кислоты, чечевицы и бересклета — 5; в семенах бересклета, подвергавшихся стратификации в тепле и при переменном температурном режиме, в результате разделения было обнаружено 6 пятен кислот. Название кислоты, не вышедшей из исходного пятна, а также кислоты, для которой R_f находится в пределах 0,19—0,28, не установлено. Выделение щавелевской кислоты произведено условно, вследствие того, что ее положение на хроматограмме чрезвычайно

сильно меняется от концентрации в исходном пятне, а наличие большого «хвоста» затрудняет определение R_f . Вполне достоверно идентифицированы пятна лимонной, яблочной и янтарной кислот. В воздушно-сухих семенах чечевицы имеется яблочная* и янтарная кислоты, но нет — лимонной. В семенах клена гиннала есть лимонная и яблочная, но нет янтарной кислоты. В семенах бересклета отсутствует яблочная кислота. Опыт показывает, что применение одной холодной стратификации не способствует ее

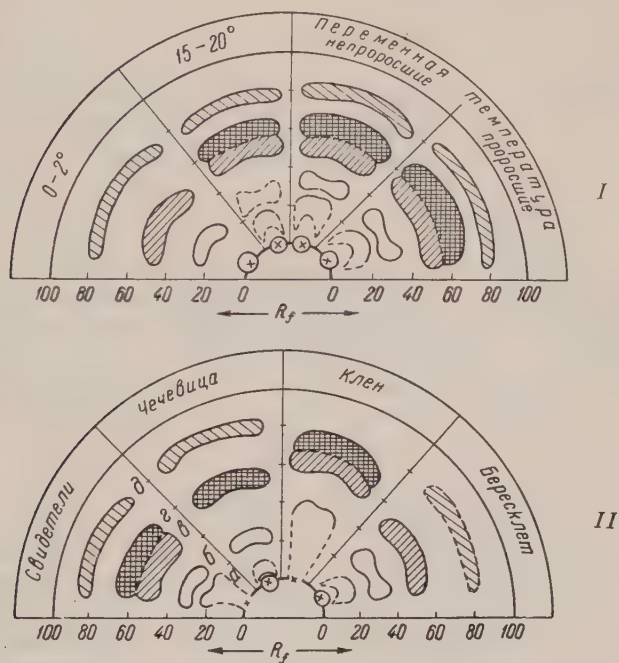


Рис. 1. Результаты разделения органических кислот семян на круглой хроматограмме (R_f средний из 11 определений): I — воздушно-сухие семена, II — семена бересклета после различной стратификации; а — щавелевая кислота, б — винная, в — лимонная, г — яблочная, д — янтарная

образованию в семенах. Яблочная кислота появляется в семенах бересклета под влиянием как переменного температурного режима предпосевной подготовки, так и в результате одной теплой стратификации.

Таким образом, мы видим, что концентрация и состав органических кислот испытывают одинаковые изменения как под влиянием нормальной стратификации, обеспечивающей прорастание, так и в результате воздействия одной теплой стратификации, не достаточной для нарушения покоя семян. В то же время применение только холодной стратификации не способствует ни появлению яблочной кислоты, ни увеличению общего содержания кислот.

Предшествующие исследования физиологии прорастания семян бересклета показали, что во время теплого периода стратификации в семени начинается рост зародыша. При этом семя увеличивается в размере, и кожура его лопается (семена «открываются»). Такие семена без последующего воздействия пониженной температурой прорасти неспособны. Начало роста зародыша является необходимым условием эффективности последующего действия холода. При низкой температуре рост зародыша в семенах бере-

* Положение яблочной кислоты на хроматограммах семян чечевицы сильно сдвинуто вследствие малой концентрации ее в пробе.

скелета европейского не начинается, поэтому они не могут выйти из состояния покоя в условиях только холодной стратификации. В нашем опыте семена этого варианта стратификации за 6 месяцев даже «не открылись», прошедшие только теплую подготовку — «открылись», но не проросли. Семена, прошедшие стратификацию при переменной температуре, были все «открыты» и при испытании в тепле дали 56% всходов.

Появление в семенах бересклета яблочной кислоты и общее увеличение содержания органических кислот, несомненно, вызывается началом роста зародыша семени и не зависит от действия низкой температуры. На основании полученных нами данных можно предполагать, что и увеличение титруемой кислотности, неоднократно наблюдавшееся во время холодной стратификации семян различных растений (7, 8, 11, 12 и др.), также вызывается началом ростовых процессов зародыша, а не специфическим действием низкой температуры. Тем более, что Флемин (9, 10) убедительно показала, что зародыши большинства покоящихся семян способны к некоторому росту, независимо от действия холода.

Таким образом, проведенные исследования не подтверждают предположе-

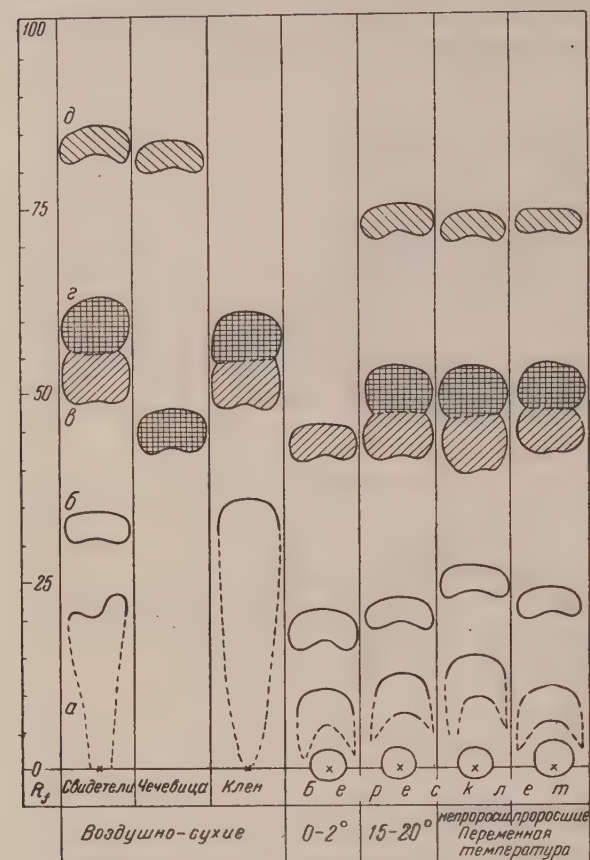


Рис. 2. Результаты разделения органических кислот семян на восходящей хроматограмме (значения R_f — средние из 4—5 определений)

ния о том, что прорастание покоящихся семян под влиянием холода вызывается накоплением органических кислот. Несколькое более высокое содержание последних в семенах бересклета, подвергавшихся не только одной теплой, но и холодной стратификации, представляет собой явление вторичного порядка и связано с усилением роста зародыша в результате стимулирующего действия пониженной температуры.

Ботанический институт
Академии наук СССР

Поступило
28 X 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. В. Благовещенский, Тр. Гл. Бот. сада, 3, I (1953).
- ² А. В. Благовещенский, Природа, 7, 43 (1955).
- ³ А. Ю. Кологривова, ДАН, 48, № 6 (1945).
- ⁴ Ф. Быков, Плодоовощн. хоз., 8, 50 (1935).
- ⁵ Т. В. Вобликова, Тр. Гл. Бот. сада, 2, 95 (1951).
- ⁶ Л. А. Христева, Докл. ВАСХНИЛ, 7, 29 (1948).
- ⁷ S. Eckerson, Bot. Gaz., 55, 286 (1913).
- ⁸ F. Flemion, Contr. Boyce-Thomps. Inst., 5, 143 (1933).
- ⁹ F. Flemion, Contr. Boyce-Thomps. Inst., 9, 339 (1938).
- ¹⁰ F. Flemion, Contr. Boyce-Thomps. Inst., 11, 455 (1941).
- ¹¹ P. A. Rack, Bot. Gaz., 72, 139 (1921).
- ¹² P. A. Stokes, Ann. Bot., N. S., 17, 65, 157 (1953).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

С. И. ПАШКАРЬ

**ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПО ОРГАНАМ
РАСТЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ**

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 14 IX 1956)

Работы, касающиеся исследований фенольных соединений у *Solanum tuberosum*, говорят об участии этой группы веществ в механизме устойчивости растений картофеля к различным заболеваниям (¹⁻⁶). В литературе отсутствуют данные о распределении фенольных соединений по отдельным органам картофеля, возрастной динамике их содержания и качественной природе. Вместе с тем такие исследования должны приблизить к разрешению вопроса о генезисе и физиологической роли полифенольных соединений у картофеля.

В настоящей работе количественное содержание фенольных соединений (по фракциям) определялось титрованием перманганатом калия в присутствии индигокармина (⁷). Применявшиеся пересчетные коэффициенты титрования были следующими: для воднорастворимой фракции 5,82, для щелочнорастворимой фракции 11,64 и для эфирорастворимой фракции 2,0.

Материалом для анализа служили ростки клубней картофеля 5-, 10-, 13- и 21-дневного возраста, выращенные в ящиках на смеси почвы и песка (3:1), а также различные органы растений картофеля, выращенных на полевом участке при нормальной агротехнике в течение вегетационных периодов 1954 и 1955 гг.

Содержание фенольных веществ (воднорастворимая фракция) в ростках картофеля с возрастом снижалось, а именно (в мг %):

	5-дневные	10-дневные	13-дневные	21-дневные
Сорт Вале	491,0	191,5	135,9	81,7
Сорт Гренцмарк	687,5	200,0	114,0	40,1

Данные о возрастных изменениях в содержании фенольных веществ в отдельных органах картофеля приведены в табл. 1.

Как видно из данных, приведенных в табл. 1, наблюдается заметное уменьшение количества фенольных веществ в сформировавшихся клубнях по сравнению с зачаточными клубеньками. Более слабое снижение количества фенольных веществ с возрастом растения отмечено в столонах. В листьях, наоборот, количество фенольных соединений неуклонно возрастает в течение вегетации. Такое же направление возрастных изменений присуще и стеблям. Содержание фенольных соединений в корнях картофеля держится почти на одном уровне в течение всего периода вегетации. В отличие от других органов, в корнях преобладает щелочнорастворимая фракция фенольных веществ.

Отдельные органы растения картофеля заметно отличаются друг от друга по содержанию фенольных соединений (табл. 2). Наиболее богатым фенольными веществами органом картофеля являются листья. Помимо воднорастворимой фракции в них присутствует также эфирорастворимая и щелочнорастворимая фракция. Заметным количеством фенольных веществ отли-

Таблица 1

Изменение содержания фенольных соединений в растениях картофеля в течение вегетации (в мг% на сырой вес)

Период взятия проб	Часть растения	Фракция	С о р т а			
			Вольтман	Карнеа	Стахановский	Октябрь
Фаза 5—6 листьев	Листья	Вр	252,0	485,0	284,0	305,0
		Эр*	13,9	24,0	20,44	18,6
		Щр	104,2	129,0	158,1	58,9
Бутионизация	Листья	Вр	463,0	600,0	317,0	391,5
		Эр*	14,1	24,1	19,7	19,7
		Щр	235,0	146,0	154,0	168,0
	Стебли	Вр	15,1	0,0	15,4	25,0
		Вр	40,2	59,8	55,2	53,0
	Столony	Вр	34,6	19,8	35,5	39,6
		Щр	116,0	98,5	122,0	110,0
	Корни	Вр	150,6	118,3	157,5	149,6
		Щр	116,0	98,5	122,0	110,0
Цветение	Листья	Вр	612,0	603,0	518,0	470,0
		Эр*	24,7	23,32	29,8	20,8
		Щр	153,8	198,0	148,1	164,3
	Стебли	Вр**	34,0	18,6	46,0	30,6
		Вр	26,5	24,4	27,4	43,4
	Зачаточные клубеньки	Вр	125,0	85,5	123,0	150,0
Начало отмирания ботвы	Клубни	Вр	9,61	8,15	17,2	28,5
		Вр	37,9	41,9	46,9	50,3
		Щр	89,9	70,5	95,6	110,8
	Корни	Вр	127,8	112,4	142,5	161,1
		Вр	1001,0	731,0	647,0	687,0
		Эр*	38,60	30,0	18,9	21,5
Зачаточные клубеньки	Зачаточные клубеньки	Вр	114,3	—	87,9	96,0
		Вр	80,8	43,05	74,1	17,41
		Вр	37,9	64,7	54,8	37,0
	Глазки клубней	Вр	107,9	134,0	105,7	140,0
		Щр	145,8	198,7	160,5	147,0
		Вр	29,5	38,5	—	52,0
Созревание клубней	Глазки клубней	Вр	24,45	55,9	74,0	55,5
		Вр	24,45	55,9	74,0	55,5

Примечание. Вр — воднорастворимая, Эр — эфирорастворимая и Щр — щелочнорастворимая фракции.

* Фракция, растворимая в эфире при извлечении из водной вытяжки.

** Щелочнорастворимая фракция встречается изредка и в незначительных количествах.

чаются молодые ростки и зачаточные (молодые) клубеньки. Столоны, сформировавшиеся клубни (особенно в конце вегетации) и стебли, напротив, очень бедны фенольными веществами.

При прорастании клубней картофеля в темноте в молодых ростках появляются значительные количества фенольных соединений. На этом основании можно предполагать, что фенольные вещества картофеля образуются не непосредственно в процессе фотосинтеза, а путем вторичного синтеза (возможно из сахаров), как это доказано для полифенолов других растений (8, 9). С другой стороны, нарастание количества фенольных веществ в листе с возрастом растения и ничтожное содержание их в проводящих путях (стеблях и главных жилках листа) говорят об отсутствии передвижения этой группы веществ из листьев в подземные органы и о самостоятельном синтезировании фенольных соединений отдельными органами картофеля.

Если в ростках и клубнях картофеля интенсивное образование фенольных соединений приурочено к наиболее молодому их возрасту, будучи очевидно связано с усиленными ростовыми процессами, то в листьях количество фенольных соединений возрастает в течение вегетации, коррелируемая самым с процессами старения листьев (в пожелтевших листьях количество воднорастворимых фенолов еще более возрастает).

Неодинаковое распределение фенольных веществ и различная направленность их возрастной динамики в отдельных органах позволяет считать, что в различных органах растений картофеля фенольные соединения играют неодинаковую роль.

На пути к познанию физиологической роли фенольных соединений в картофеле важное значение приобретает изучение качественной их природы. В этой связи интересно отметить, что вытяжки из любого органа растения картофеля не дают характерной для типичных «дубильных веществ» реакции осаждения разбавленного раствора желатины.

Определяя содержание гидроксильных групп полифенолов железотартратным реактивом при различных рН колориметрическим методом А. Л. Кур-

санова и М. Н. Запромётова (10), мы обнаружили, что водные вытяжки из листьев, цветков, ростков и клубней картофеля содержат только протокатехиновые гидроксилы и не содержат полифенолов с рядовым расположением —ОН-групп. При этом интенсивность окрашивания вытяжек от добавления железотартратного реактива (так же как и при реакции на хлорное железо с появлением зеленой окраски) полностью коррелирует с данными содержания фенольных соединений, приведенными в табл. 2. Водные же вытяжки из корней картофеля отличаются полным отсутствием полифенольных гидроксидов, так же как и отрицательной реакцией на хлорное железо.

В настоящее время нами проводятся дальнейшие исследования качественного состава полифенолов отдельных органов и тканей растений картофеля, что должно пролить свет на различную физиологическую роль этих веществ в различных органах картофеля.

Всесоюзная научно-исследовательская
станция по раку картофеля
Черновцы

Поступило
6 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. Dufrenoy, 10-e Congrès Internat. d'Horticulture, Paris, 94, 1932.
- ² G. Meyer, Arb. aus d. Biol. Reichsanst. für Land- und Forstwirtschaft, 23, 97 (1940).
- ³ С. М. Проскушева, Биохимия картофеля, М.—Л., 1947.
- ⁴ Б. А. Рубин, Е. В. Арциховская, Т. А. Проскурикова, Биохимия, 12, 2, 141 (1947).
- ⁵ G. Johnson, S. Schaal, Science, 115, 2997, 627 (1952).
- ⁶ Р. Е. Соколовская, Сборн. работ. Инст. прикл. зоол. и фитопатол., в. 2, 110 (1953).
- ⁷ А. Л. Курсанов, Биохимия, 3, 312 (1941).
- ⁸ А. Л. Курсанов, Синтез и превращения дубильных веществ в чайном растении, М., 1952.
- ⁹ E. Nick, Die Pharmazie, H. 11, 8, 940 (1953).
- ¹⁰ А. Л. Курсанов, М. Н. Запромётов, Биохимия, 14, 5, 467 (1949).

Таблица 2

Распределение фенольных соединений по органам растения картофеля (в мг% на сырой вес)

Органы	Фракции		
	воднорастворимая	эфирорастворимая *	щелочнорастворимая
Клубни	8—30	0	0
Глазки клубней	25—80	0	0
Зачаточные клубеньки	85—150	0	0
Ростки 5-дневные	420—700	0	0
Ростки 21-дневные	50—80	0	0
Столоны	25—65	0	0—15
Стебли	0—60	0	0—5
Листья	250—1000	15—50	60—280
Цветки	200—1000	20	20
Ягоды	130	0	0
Корни	20—70	0	70—190

* Обнаружена при извлечении из водной вытяжки только в листьях и цветках.

З. И. БИРЮКОВА

ОБ УСЛОВНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ РЕФЛЕКСАХ ЧЕЛОВЕКА

(Представлено академиком А. Д. Сперанским 31 V 1956)

Несмотря на наличие ряда работ, в которых установлен факт условно-рефлекторного изменения дыхательной функции (¹⁻³), изучение условных дыхательных рефлексов здорового человека почти не проводится. Имеются лишь единичные работы (^{4, 5}), в которых изучался прямой, а не сопутствующий дыхательный рефлекс человека при подкреплении адекватным запаховым раздражителем с учетом дыхательных реакций при пневмографической записи. Общее заключение о значении их, сделанное авторами указанных работ, в основном сводится к тому, что дыхательный акт — это весьма тонкий показатель процессов, протекающих в центральной нервной системе, способный отразить все изменения, которые происходят как во внутренней, так и во внешней среде организма.

Учитывая важную интегративную роль дыхательной функции, можно предположить, что использование именно этой формы условных рефлексов при изучении различных вопросов высшей нервной деятельности человека окажется эффективным. Несомненно, особую значимость такие исследования могут иметь при разрешении многих вопросов практики, связанной с различными видами деятельности человека (трудовая, спортивная) (⁶⁻⁸).

Настоящая работа была проведена с целью изучения прямых условных дыхательных рефлексов у здорового взрослого человека. Так как дыхательная функция находится под регуляцией двух механизмов: корково-подкоркового и механизма произвольной регуляции со второй сигнальной системы, то представлялось интересным провести сравнительные исследования дыхательных рефлексов, образованных как с первой, так и со второй сигнальных систем.

С этой целью вырабатывались следующие виды условных рефлексов: 1) условно-безусловные дыхательные рефлексы оборонительного характера (I серия); 2) условно-условные, при речевом подкреплении, сигнализирующем изменение дыхания (II серия); 3) условно-условные следовые, при речевом подкреплении, направленном на оживление следов перенесенной физической нагрузки (III серия).

Опыты проводились на спортсменах-легкоатлетах.

В I серии опытов положительные условные рефлексы вырабатывались на тон универсального генератора в 400 гц (Г-40), а дифференцировка к нему на тон в 800 гц (Г-80), подкреплением служил запах аммиака. Нажатием резинового баллона воздух пропусклся через 30 %-й раствор аммиака и подавался к носу испытуемого через специально закрепленную у носа канюлю. Благодаря наличию в системе трехходового крана мы могли поступление аммиака начинать и прекращать мгновенно. Дыхание регистрировалось путем пневматической передачи дыхательных движений на ленту кимографа. Безусловный рефлекс выражался почти у всех испытуемых в полной задержке дыхания или в ступенчатом замедленном выходе. Как правило, условный рефлекс повторял безусловный и выражался в задержке дыхания.

Представленная на рис. 1 наиболее типичная форма условного дыхательного рефлекса может быть оценена как биологически целесообразная, так как при этом реакция направлена на ограничение действия неприятного (отвергаемого) раздражителя. Лишь у испытуемого (Е. Ш.) как безусловный, так и условный рефлекс выражались в резком усилении и на отдельных фазах в углублении дыхания. Такая реакция может оцениваться как биологически нецелесообразная, так как она не направлена на отстранение от неприятного, раздражающего агента и по существу не носит оборонительного характера. Воздействия на вторую сигнальную систему этого испытуемого с целью изменить характер дыхательного рефлекса давали лишь кратковременный эффект. Дифференцировка у испытуемого Е. Ш. также не образовалась, хотя неподкрепленный тон был применен свыше 100 раз.

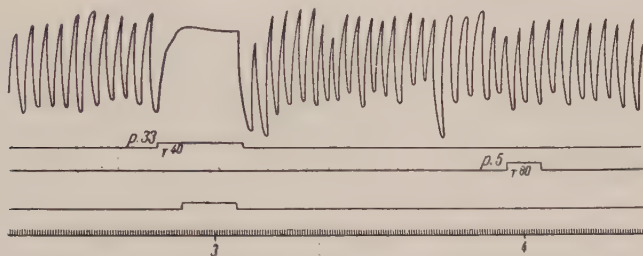


Рис. 1. Сверху вниз: пневмограмма, отметка действия условного раздражителя, отметка действия дифференцировки, отметка действия безусловного раздражителя, отметка времени. На пневмограмме виден условный дыхательный рефлекс (p^{33}) на т-40 (400 гц) и полное отсутствие изменений дыхания (p^0) на дифференцировочный тон 80 (800 гц)

Речевое воздействие* с целью ускорения образования дифференцировки имело кратковременный эффект. Что же касается образования дифференцировки у других испытуемых, то она вырабатывалась после 1—3 применений неподкрепленного тона.

Анализ характера дыхательных реакций, как безусловных, так и условных, позволяет высказать следующее соображение: если рассматривать ответные, произвольного характера реакции человека с точки зрения эволюционного становления функций, а также с учетом индивидуального опыта, то можно в известной степени по характеру этих реакций судить о том, в какой мере у данного человека выражено влияние со второй сигнальной системы на их формирование. Поэтому наличие биологически нецелесообразной условно-рефлекторной, а для дыхательной реакции — и безусловнорефлекторной реакции можно рассматривать как ослабление регуляторного воздействия на данную функцию через вторую сигнальную систему. Это имело место у испытуемого Е. Ш. Об этом также свидетельствует отсутствие дифференцировки у него. Результаты опытов со спортсменом Е. Ш. дают основания предполагать, что концентрации как возбудительного, так и тормозного процесса в обеих сигнальных системах слабая.

Таким образом, в первой части работы изучались особенности образования и протекания условных дыхательных рефлексов у хорошо тренированных взрослых людей, а также отмечались индивидуальные особенности их проявления.

При образовании условно-условных дыхательных рефлексов (II серия) речевое подкрепление (тон 2000 гц — положительный и тон 500 гц — дифференцировка) подавалось в виде команды «задержать дыхание». Условный рефлекс выражался соответственно команде в задержке дыхания на все время звучания тона (см. рис. 2).

* «На этот тон (звучание т-40) всегда будут давать аммиак, на этот тон (звучание т-80) никогда не буду давать аммиак».

Условные рефлексы образовались у большинства испытуемых в первом десятке сочетаний.

Интересно отметить, что у испытуемого Е. Ш. дифференцировка и в этой серии опытов не образовалась сразу, как у всех остальных испытуемых. Значительный интерес представляет тот факт, что у лиц, показавших более четко выраженное торможение со второй сигнальной системы, при образовании условно-безусловных рефлексов условно-условные рефлексы также вырабатывались с трудом. Условно-условный дыхательный рефлекс недавно был использован Зенченко для исследования корковой динамики больных⁽⁹⁾. Автор также указывает, что изучение высшей нервной деятельности человека с помощью данного методического приема позволяет судить о функциональном состоянии корковых центров.

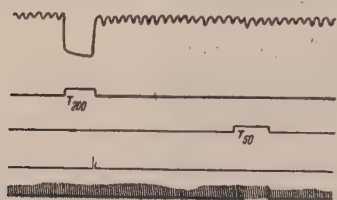


Рис. 2. Обозначения те же (вторая линия снизу — отметка речевого подкрепления). На пнеймограмме виден условный рефлекс на $t=200$ (2000 гц) в виде задержки дыхания и полное отсутствие изменения дыхания на дифференцировочный $t=50$ (500 гц)

Этот вид условных рефлексов позволяет оценивать состояние и взаимодействие нервных процессов при преимущественных воздействиях через вторую сигнальную систему. В результате этих опытов выявлялись согла-

В III серии опытов рефлексы вырабатывались на не применявшиеся ранее тона генератора при подкреплении мысленным воспроизведением физических упражнений (упражнения с гантелями в возможно быстром темпе), которые реально выполнялись за 1—2 мин. перед началом опыта. При этом звучание положительного тона продолжалось 30 сек., а на 2—5-й сек. давалось речевое подкрепление: «повторить мысленно упражнение с гантелями». У большинства испытуемых тотчас же начиналось изменение дыхательной кривой. На рис. 3 представлена наиболее типичная форма такого рефлекса.

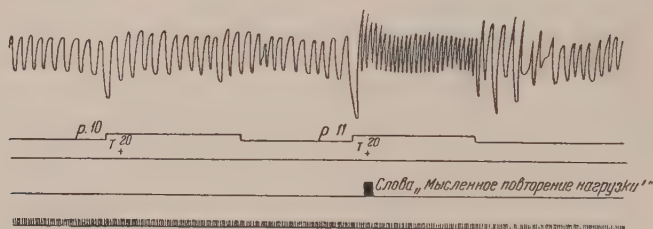


Рис. 3. Обозначения те же, что на рис. 2. На пнеймограмме видно изменение дыхания при речевом подкреплении «мысленно повторить упражнение с гантелями» (p_{11}) положительного тона 20 гц

сующиеся с данными предыдущих серий некоторые индивидуальные особенности взаимодействия сигнальных систем у исследованных нами спортсменов. Так, например, у испытуемого Н. Б., у которого только наметки на условно-условный рефлекс проявился лишь после 50 сочетаний (II серия), не было отражения во второй сигнальной системе неоднократно производимых физических упражнений. Он не смог их мысленно воспроизвести, что было видно из того, что дыхательная кривая почти не изменялась. В тех отдельных пробах, где намечались незначительные изменения, вследствие мысленного повторения этих упражнений на пневмограмме можно было видеть ступенчатое замедление дыхания на удлиннном выдохе. Все вместе взятое свидетельствует о слабой концентрации возбуждательного процесса. Другой пример быстрого образования условных рефлексов: у испытуемого

В. Р. условно-безусловный рефлекс образовался на 5-м сочетании, условно-условный — на 4-м сочетании, условно-условный следовой на 4-м сочетании; все рефлексы были очень четко выражены. Это свидетельствует о хорошей концентрации возбудительного процесса в обеих сигнальных системах.

Изменения функций организма под влиянием воображаемой работы описаны Ефремовым с сотрудниками⁽¹⁰⁾. Авторы указывают на возможность с помощью данного приема оценивать функциональное состояние нервной системы. Значительный интерес представляют работы зарубежных авторов⁽¹¹⁻¹³⁾, которые в исследованиях на больных и здоровых людях регистрировали условно-рефлекторные изменения дыхания не только на реально примененный условный раздражитель, но и на его мысленное воспроизведение.

Условный дыхательный рефлекс выражен очень четко и является весьма стойким. Все это делает его вполне приемлемым показателем для изучения высшей нервной деятельности здорового взрослого человека.

Использование комплекса указанных видов условных рефлексов является одним из путей к возможно более полной оценке индивидуальных особенностей высшей нервной деятельности здорового взрослого, хорошо тренированного человека как по оценке нервных процессов, так и по взаимовлияниям сигнальных систем.

Институт нормальной и патологической
физиологии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
31 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Р. Е. О л ь н я н с к а я, Физиол. журн. СССР, **15**, в. 4, 314 (1932). ² В. Б. Л и -
Б е р м а н, А. Д. С л о н и м, Цит. по (1). ³ Г. П. К о н р а д и, З. В. Б е б е ш и н а,
Арх. биол. наук, **38**, в. 2, 243 (1936). ⁴ Т. М. Б о л х о в и т и н а, В кн. Условные реф-
лексы. Тр. Воронежск. мед. инст. **14**, 101 (1948). ⁵ Л. А. С т е п а н о в а, Тез. докл.
годовой сессии центр. научно-исслед. инст. физкультуры, 1955. ⁶ К. М. С м и р н о в,
Ф. В. С п и р и д о н о в а, Бюлл. эксп. биол. и мед., **24**, № 12, в. 6, 456 (1947).
М. Е. М а р ш а к, Э. Я. З а к, Теория и практика физической культуры, **12**, в. 2, 104
(1949). ⁸ Е. В. К у д р я в ц е в, О кортикальных связях между дыханием и мышечной
деятельностью, Диссертация, 1952. ⁹ Ф. И. З е н ч е н к о, Тез. докл. на 15 научной
конфер. Рязанского мед. инст., 1955. ¹⁰ В. В. Е ф р е м о в, 6-й съезд физиологов, биохимиков
и фармакологов, Тезисы, 1937 г. стр. 351. ¹¹ C. R. G a r v e y, J. Exp. Psychol., **16**,
71 (1933). ¹² N. F i n k e l s t e i n, Bull. Johns Hopkins Hosp., **76**, 61 (1945).
¹³ J. E. F i n e s i n g e r, S. G. M a z i c k, Am. J. Psychiatr., **97**, 27 (140).
¹⁴ М. Е. М а р ш а к, В кн. Нервная регуляция кровообращения и дыхания, Тр. Объедин.
инст. мед. биол. наук и отд. клин. мед. АМН СССР с участ. Рязанского мед. инст., 1951.

А. Г. ГИНЕЦИНСКИЙ и В. Ф. ВАСИЛЬЕВА

ЭФФЕРЕНТНАЯ ИННЕРВАЦИЯ КАНАЛЬЦЕВ ПОЧКИ

(Представлено академиком Л. А. Орбели 13 IX 1956)

Несмотря на бесспорные морфологические данные, свидетельствующие о существовании волокон, иннервирующих все отделы нефрона, до сих пор нет единства мнений по вопросу о физиологическом значении эфферентных нервов эпителия почечных канальцев. После перерезки нервов одни авторы находили определенные изменения в деятельности почек, другие же никаких последствий денервации не наблюдали. Исследования нашей лаборатории позволяют нам присоединиться к мнению тех, кто не обнаружил различий в функции интактной и денервированной почек ⁽¹⁾.

Тем не менее распространенное в физиологической литературе представление о полной независимости канальцевого эпителия от прямого нервного контроля вряд ли может быть признано достоверным. Исследования эфферентной иннервации почек в подавляющем большинстве случаев ограничивались опытами с перерезкой нервов. Однако денервация сама по себе не может дать материала для окончательного суждения о роли эфферентных нервов. Вопрос этот надлежит исследовать путем их раздражения. Многочисленные попытки этого рода, произведенные в условиях острого эксперимента, установили существование вазоконстрикторных волокон к сосудам почки, но они ничего не дали для выяснения вопроса о секреторных почечных нервах. Весьма возможно, что причиной этого явилась обстановка острого опыта, которая крайне неблагоприятна для данной цели. Наркоз животного и операционная травма обуславливают резкое сокращение сосудов гломерулы и поступление в кровь значительного количества антидиуретического гормона. Если нервный контроль деятельности почечного эпителия и существует, то по всей вероятности он реализуется в отдельных звеньях сложного процесса, протекающего в канальцевой части нефрона. Процесс же этот при вивисекционном методе подвергается мощным воздействиям, исходящим из различных источников. Трудно рассчитывать обнаружить при этих условиях тонкое регулирующее влияние секреторных нервов.

Соответствующие опыты очевидно должны быть осуществлены на животном, свободном от влияния наркоза и других осложняющих факторов острого эксперимента. Этому условию в полной мере удовлетворяет оперированная по способу Орбели собака, у которой на кожу живота отдельно выведены натуральные отверстия мочеточников. Такое животное является идеальным объектом для изучения функции почек при помощи современных количественных тестов, основанных на принципе очищения.

В первой серии опытов мы попытались воздействовать на предполагаемый нервный механизм, контролирующей секреторную функцию канальцев, адреналином, учитывая, что основная масса волокон, вступающих в почечную паренхиму, имеет симпатическое происхождение. С этой целью к раствору инулина, вливаемому в вену для определения размеров фильтрации, в известные моменты прибавлялся адреналин. Скорость поступления в кровяное русло этого вещества в наших опытах обычно составляла около 10^{-5} г в 1 мин.

Как было показано (², ³), адреналин в малых дозах действует преимущественно на эфферентную артериолу гломерулы. В связи с этим уменьшение объема протекающей через капилляры клубочка крови компенсируется эквивалентным увеличением фильтрующейся фракции, и размер фильтрации не уменьшается. Мы можем полностью подтвердить эти данные.

На рис. 1 видно, что фильтрация в период адреналинового эффекта остается на постоянном уровне, обнаруживая лишь несущественные колебания в ряде последовательных определений. В то же время скорость мочеотделения уменьшается с до 1 мл в 1 мин., что несомненно свидетельствует о происшедшем увеличении интенсивности реабсорбции воды. Характеризующее эту интенсивность отношение концентраций моча/плазма для инулина соответственно возрастает. Очевидно, что существуют адренергические механизмы, стимулирующие деятельность эпителия канальцевой части нефрона, побуждая его к усиленному всасыванию воды.

Не касаясь обширной литературы, посвященной влиянию адреналина на сосуды почки, отметим появившиеся в недавнее время отдельные исследования, в которых сообщается, что это вещество стимулирует реабсорбцию натрия (⁴⁻⁶). Наши данные об увеличении скорости обратного всасывания

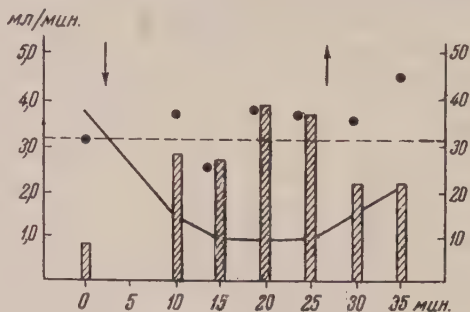


Рис. 1. Влияние адреналина на фильтрацию и реабсорбцию воды. По оси ординат справа: точки — размеры фильтрации в мл/мин., столбики — значения концентрационного индекса инулина. По оси ординат слева: сплошная линия — размеры диуреза. Стрелки показывают начало и конец влияния адреналина

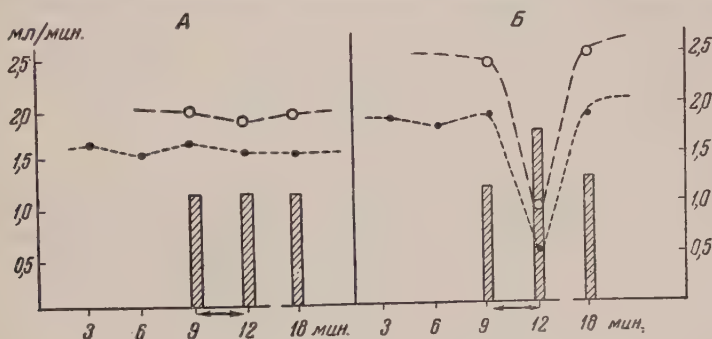


Рис. 2. Влияние раздражения нервов на функцию почки. А — контроль (правая почка); Б — опыт (левая почка, нервы которой раздражаются). По оси ординат слева: точки — размеры диуреза. По оси ординат справа: кружки — размеры фильтрации в мл/мин., столбики — значения концентрационного индекса инулина. Стрелкой указан момент раздражения

в канальцах при внутривенной инфузии адреналина находятся в полном соответствии с этими исследованиями.

В другой серии опытов мы попытались обнаружить прямое влияние нервов на функции почек, используя для этой цели собаку, у которой были вживлены электроды, через которые можно было раздражать нервные волокна, сопровождающие почечную артерию. Раздражение почечных нервов в аналогичных условиях эксперимента было впервые осуществлено Блоком соавторами (⁷), которые нашли, что при этом происходит резкое уменьшение кровотока и фильтрации, а вслед за тем, независимо от сосудистого

эффекта, наблюдается и повышение реабсорбции воды. Авторы с полным основанием объясняли такое повышение действием гормональных факторов, так как обстановка их опытов неизбежно вызывала рефлекторную секрецию гипофизом антидиуретического гормона.

Для того чтобы избежать этого осложнения, мы произвели исследование в условиях, исключающих поступление афферентных импульсов с раздражаемых нервов к головному мозгу. С этой целью у собаки с отдельными фистулами мочеточников производилась перерезка спинного мозга на уровне 6—8-го грудных позвонков. Через неделю после этой операции на сосудистый нервный пучок, вступающий в левую почку, асептически устанавливались

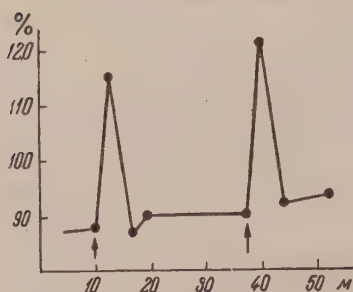


Рис. 3. Влияние раздражения нервов на реабсорбцию воды. По оси ординат: величина концентрационного индекса инулина в почке, нервы которой раздражаются, в % от индекса противоположной, контрольной, стороны. Стрелкой указан момент раздражения

электроды специальной конструкции. Провода от них выводились на кожу спины.

Результаты осуществленного по этому плану эксперимента иллюстрирует рис. 2. Величина фильтрации в почке, нервы которой раздражаются, существенно уменьшается, что является естественным следствием возбуждения сосудосуживающих нервов, ограничивающих кровотоки через капилляры клубочка. Однако падение диуреза не может быть объяснено только этим сосудистым эффектом, так как одновременно имеет место увеличение отношения концентраций моча/плазма для инулина, с ограничением кровообращения явно не связанное. Такое повышение свидетельствует о происшедшем увеличении реабсорбции воды. В правой же, контрольной почке никаких изменений в период раздражения нервов не происходит. Это не-

сомненно исключает предположение о секреции антидиуретического гормона и позволяет сделать вывод, что наблюдаемый на левой почке эффект является следствием нервных импульсов, приходящих к канальцам.

Другой случай аналогичного эффекта приводится на рис. 3. В этом опыте нервы раздражались два раза и каждое раздражение сопровождалось возрастанием отношения моча/плазма для инулина на экспериментальной почке по сравнению с контрольной.

Таким образом результаты опытов с раздражением эфферентных нервов вполне совпадают с результатами, полученными при исследовании влияния адреналина. Обе эти серии экспериментов свидетельствуют, что деятельность канальцев контролируется не только гуморальным путем, но и импульсами, поступающими к почечной паренхиме по нервным проводникам.

Институт эволюционной физиологии
им. И. М. Сеченова
Академии наук СССР

Поступило
7 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Ф. Васильева, О влиянии эфферентных нервов на функцию почек, Диссертация, М., 1953.
- ² H. Chasis, W. Ranges, W. Goldring, H. Smith, J. Clin. Invest., 17, 683 (1938).
- ³ W. Goldring, H. Chasis, Med. Clin. North Am., 33, 751 (1949).
- ⁴ W. Blake, Feder. Proc., 10, 15 (1951).
- ⁵ S. Kaplan, S. Fomon, S. Rapoport, Am. J. Physiol., 169, 588 (1952).
- ⁶ R. Berne, W. Hoffman, A. Kagan, M. Levy, Am. J. Physiol., 171, 564 (1952).
- ⁷ M. Bloch, K. Wakim, F. Mann, Am. J. Physiol., 169, 659 (1952).

О. Г. КАРАНДЕЕВА и М. А. АБРИКОСОВА

ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА МОРСКИМИ БЕСПОЗВОНОЧНЫМИ В НЕКОТОРЫХ УСЛОВИЯХ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 10 IX 1956)

Под влиянием достаточно сильных доз различных физических, химических и физико-химических воздействий в тканях организма возникают глубокие, граничащие с необратимыми и неспецифические по отношению к действующему агенту нарушения структуры белковых тел и обмена веществ леток (¹⁻³). Механизм и скорость устранения этих нарушений еще не достаточно изучены.

Нами была проведена серия экспериментов с целью выяснения динамики потребления кислорода после ряда подобных воздействий у двух видов черноморских беспозвоночных: двусторчатого моллюска *Modiola phaseolina* (фазеолина) и усоного рачка *Balanus eburneus* (морской жемчужид).

Работа проводилась на Севастопольской биологической станции весной и летом 1954 и 1955 гг. Исследовалось потребление животными кислорода течение нескольких дней после действия повышенной температуры, вызывающей наиболее общее и неспецифическое нарушение обмена веществ в целом, и следующих веществ (растворенных в морской воде): хлористого магния, действующего по типу курареподобных веществ; эфира, вызывающего общий наркоз; кофеина, действующего в первой фазе как стимулятор обмена веществ; хлористого кадмия, связывающего сульфгидрильные группы белков; хлористого калия, влияющего, повидимому, на дыхательные процессы. Кроме того, изучалось потребление кислорода после длительного анаэробноз. По широко распространенному мнению (⁴⁻⁸), повышенное потребление кислорода беспозвоночными после окончания периода анаэробноз аналогично экстрадыханию мышц высших животных и целиком обусловлено окислением продуктов, накопленных в результате анаэробного метаболизма.

Сначала мы проводили чисто визуальные наблюдения над животными, помещенными в ряд сосудов, наполненных морской водой с разной температурой или концентрацией растворенного в ней вещества (в опытах по анаэробнозу — в герметически закрытые сосуды с морской водой). Через определенные сроки животные отмывались и переносились в нормальную воду. В первые часы пребывания в свежей морской воде, а также на вторые, третьи сутки и далее у животных определялось потребление кислорода. Потребление кислорода измерялось в респирометрах объемом 0,6 л. в них помещалось 2—3 десятка животных на несколько часов; и до и после экспозиции определялось содержание кислорода в воде (по методу Винклера). Потребление O_2 рассчитывалось на 1 г веса тела животных. Для этого морские желудки взвешивались извлеченными из раковины, а моллюски — целиком, так как было заранее установлено, что вес фафеолины без раковины и мантийной жидкости составляет в среднем 0,23 от общего веса. опыты ставились при комнатной температуре.

Наблюдения показали, что по мере увеличения концентрации вещества времени его действия увеличивается смертность животных не только за

Таблица 1

Животное		Modiola phaseolina							Balanus eburneus				
Воздействие		тем- пера- тура в °С	анаэробноз		MgCl ₂	ко- феин	CdCl ₂	эфир	тем- пера- тура в °С	анаэ- ро- биоз	CdCl ₂	KCl	эфир
Д о з а		26—27 в теч. 10 час.	13—14 дней при 10°	4—5 дней при 16—17°	5% раств. в теч. 30 час.	2% раств. в теч. 24 час.	1% раств. в теч. 35 час.	2,5% раств. в теч. 18 час.	36—37 в теч. 6,5 час.	20 час. при 22°	0,01% раств. в теч. 8 час.	0,1% раств. в теч. 6 час.	1,25% раств. в теч. 8 час.
гибель животных за период воздействия (в %)		65	40—50	50—60	50	30	65	50	55	45	60	40	55

Потребление кислорода в период восстановления	В первые часы	мг/г в час % в норме	0,1102 188	0,0365 78	0,1085 225	0,0465 79	0,0661 112	0,0133 22	0,1078 184	0,331 89	1,780 134	0,266 78	1,026 86	0,660 192
	На 2 сутки	мг/г в час % к норме	0,1170 199	0,0966 206	—	0,1400 238	0,0755 130	0,0405 69	0,0661 113	0,386 104	2,080 156	0,491 145	1,211 101	0,682 198
	На 3 сутки	мг/г в час % к норме	0,1135 193	0,0922 196	0,1431 296	0,1382 236	0,0808 138	0,0448 76	0,0474 81	0,449 121	1,452 109	0,480 141	1,382 116	0,595 173
	На 4 сутки	мг/г в час % к норме	0,1309 233	0,1318 281	—	0,1109 189	0,0778 133	0,0335 57	0,0500 85	0,542 146	1,301 98	0,481 141	1,460 122	0,547 159
	На 5 сутки	мг/г в час % к норме	0,1286 219	—	0,1156 240	0,1105 188	0,0922 157	0,0444 75	—	0,468 123	1,160 87	—	1,251 105	—
	На 5 сутки	мг/г в час % к норме	0,1025 175	0,1251 267	—	—	0,0840 143	0,0494 84	0,0586 101	0,495 133	1,158 87	—	1,071 90	—
	На 7 сутки	мг/г в час % к норме	0,0874 149	—	—	0,0830 141	—	—	—	—	—	—	—	—
	На 8 сутки	мг/г в час % к норме	—	—	—	—	0,5800 136	0,0974 149	—	0,522 141	—	—	—	—
	На 9 сутки	мг/г в час % к норме	—	0,0765 163	0,1242 258	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	На 10 сутки	мг/г в час % к норме	—	—	—	0,0474 80	—	0,0900 153	—	—	—	—	—	—
	На 11 сутки	мг/г в час % к норме	—	—	—	—	0,0586 100	—	—	—	—	—	—	—
	На 12 сутки	мг/г в час % к норме	—	—	0,0665 138	0,0613 104	—	0,0578 99	—	—	—	—	—	—

Гибель животных за период восстановления в %*		37 (7)	44 (9)	72 (12)	60 (12)	32 (11)	81 (12)	5 (6)	38 (3)	7 (6)	29 (4)	18 (6)	15 (4)
--	--	--------	--------	---------	---------	---------	---------	-------	--------	-------	--------	--------	--------

* В скобках показано число дней, после которого погибли животные.

период самого воздействия, но и в течение многих суток после перенесения животных в нормальную среду. То же наблюдалось и в отношении действия повышенной температуры, а также длительности и температуры анаэробноза.

В табл. 1 приводятся данные только тех опытов, в которых животные подвергались сильным дозам вышеперечисленных воздействий (вызывающих гибель около половины особей за сравнительно короткий срок), но гибель животных за период восстановления была не столь значительна, чтобы исказить результаты определений потребления O₂ (приведены результаты не менее чем трех параллельных опытов).

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что глубокие нарушения тканевого обмена, вызванные указанными дозами испытанных воздействий, включая и анаэробноз, восстанавливаются очень медленно. Причем процесс восстановления нормального обмена веществ сопровождается повышенным потреблением O₂, которое во всех опытах (кроме случая с действием эфира

та фазеолину) достигало максимума не сразу, а через несколько суток. Кроме того, в течение всего периода восстановления наблюдалась гибель отдельных организмов, которые, по-видимому, получали, уже необратимые повреждения.

Совершенно очевидно, что длительное повышенное потребление кислорода, наблюдавшееся в наших опытах, связано с увеличением расхода энергии, необходимой организму для устранения структурных нарушений белковых тел живого вещества ткани и, следовательно, нормального обмена веществ. Однако возникает вопрос, почему максимальное потребление кислорода наблюдается не сразу после окончания действия повреждающего агента. Можно предположить, что вредные воздействия нарушают и самые механизмы дыхания, восстановление которых происходит, по-видимому, в первую очередь. Только после этого организм получает возможность максимально увеличить потребление кислорода, что ему необходимо для устранения нарушений тканевого обмена в целом.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
20 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Х. С. Коштоянц, Белковые тела, обмен веществ и нервная регуляция, М., 1951. ² Д. Н. Насонов, В. Я. Александров, Реакция живого вещества на внешние воздействия, М.—Л., 1940. ³ С. Н. Скадовский, Экологическая физиология водных организмов, М., 1955. ⁴ Г. Г. Винберг, Зоол. журн., 16, в. 5 (1939). ⁵ Г. Г. Винберг, Усп. совр. биол., 25, в. 1 (1948). ⁶ T. Brand, Anaerobiosis in Invertebrates, Normandy, 1946. ⁷ O. Harnish, Hydrophysiologie der Tiere, Stuttgart, 1951. ⁸ C. L. Prosser, D. W. Bishop et al., Comparative Animal Physiology, Philadelphia, 1952.

Е. А. СКВИРСКАЯ

**О РОЛИ ДОБАВОЧНЫХ РАЗДРАЖЕНИЙ В РАЗВИТИИ
ГИСТОПАТОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ У ЖИВОТНЫХ,
ЗАРАЖЕННЫХ АНАЭРОБНОЙ ИНФЕКЦИЕЙ**

(Представлено академиком А. Д. Сперанским 21 IX 1956)

В литературе описана гистопатологическая картина поражения периферических тканей и нервной системы при газовой гангрене (1). Нервной системе приписывается ведущая роль в патогенезе этого заболевания (2-5). Однако специфичность происходящих при этом в ней морфологических изменений остается под сомнением (6).

Для выяснения этого вопроса мы решили поставить специальные эксперименты, описываемые ниже.

Модель газовой гангрены создавалась нами путем введения в правую икроножную мышцу морских свинок микробной взвеси *B. perfringens* в смеси с 40%-м CaCl_2 (без хлористого кальция необходимы исключительно большие дозы микробной культуры для того, чтобы вызвать заболевание). Мы применяли такую дозу микробной культуры, которая позволяла отдалить срок смерти, приводила к гибели не всех, а только часть зараженных животных, и вызывала типичные местные явления газовой гангрены. Такая доза позволяла нам учитывать сдвиги в сторону усиления или ослабления патологического процесса при воздействии на него.

Исследования М. Л. Боровского (7) показали благоприятное влияние введения витамина B_1 в периферический отрезок перерезанного нерва на течение нейродистрофических процессов. Мы попытались использовать этот факт для воздействия на течение газовой гангрены, применив до или после заражения правой икроножной мышцы перерезку правого большеберцового нерва, инъекцию в его периферический отрезок витамина B_1 и сшивание концов. 11 морских свинок подверглись операции после заражения (I серия опытов), 10 морских свинок оперированы до заражения (II серия) и 10 морских свинок заражены без вмешательства на нерве (III серия). Контролем служили неинфицированные животные, подвергшиеся тем же видам травмы нерва и мышцы, что и подопытные, а именно: у 6 морских свинок перерезали, витаминизировали и сшивали правый большеберцовый нерв (I группа); 4 морских свинок подверглись той же операции, после чего в правую икроножную мышцу был введен 40% CaCl_2 (II группа); 4 морским свинкам в правую икроножную мышцу вводили 40% CaCl_2 (III группа). Всего в опыте было 45 свинок: 31 подопытная и 14 контрольных.

Выжившие подопытные животные находились под наблюдением до 3 месяцев, и тех из них, у которых отмечалась наиболее типичная для каждой серии опытов клиническая картина, забивали одновременно с контрольными животными на 7, 21, 45 и 90 день после заражения для морфологического изучения.

У 12 подопытных и 12 контрольных морских свинок были исследованы

* Заражение животных производилось Р. Я. Зельнович.

обе икроножные мышцы и седалищные нервы, пояснично-крестцовые отделы спинного мозга с соответствующими межпозвоночными узлами с обеих сторон и передние $2/5$ больших полушарий головного мозга (содержащие, как это принято считать, сензо-моторную зону коры головного мозга), а у некоторых животных, кроме того, — продолговатый мозг. Материал обрабатывали методами Ниссля, Большовского или Кампоса, Бильшовского — Грос — Лаврентьева, Марки и методом окраски на жир.

Наиболее тяжелые трофические расстройства инфицированной лапки наблюдались у животных III серии опытов. Они отмечались главным образом на стопе, медленно прогрессировали, достигая значительной степени, и плохо компенсировались. У животных I серии опытов трофические нарушения были выражены слабее и нормализовались быстрее, чем у животных II и III серии. Среди контрольных животных наиболее тяжелые трофические расстройства наблюдались после введения в мышцу хлористого кальция и наиболее слабые — после перерезки, витаминизации и сшивания большеберцового нерва. У контрольных животных II группы эта операция привела к ослаблению трофических расстройств, вызванных хлористым кальцием.

Гистопатологическое исследование показало, что в межпозвоночных узлах и в центральной нервной системе как у подопытных, так и у контрольных животных возникли обратимые, а иногда и необратимые изменения нервных клеток, а также воспалительные явления в оболочках. Однако в центральной нервной системе у подопытных животных они были выражены значительно слабее, чем у животных, погибших от смертельной дозы микробов⁽⁸⁾ (рис. 1). Это позволило нам установить различие изменений в разных условиях эксперимента и в разные сроки после заражения.

У подопытных животных III серии опытов, по сравнению с контрольными III группы, наблюдался более тяжелый деструктивный процесс в очаге поражения и отставание процессов рубцевания и реиннервации зараженной мышцы; через 1,5—3 месяца после заражения в ней еще встречались дегенерирующие мышечные волокна; воспалительные явления были выражены слабее и дольше сохранялись; явления раздражения нервных образований в противоположной икроножной мышце «здоровой» лапки (натекі нейроплазмы, неравномерность калибра нервных волокон и «невромы» двигательных окончаний) были выражены интенсивнее, чем в той же мышце у контрольных животных. В межпозвоночных узлах раньше возникали, чаще встречались и были больше выражены тяжелые изменения нервных клеток (рис. 2). В спинном мозге у подопытных животных иногда эти изменения были выражены меньше, чем у контрольных, — особенно в поздние сроки. В больших полушариях головного мозга у некоторых подопытных животных наблюдались очаги воспаления в оболочках и веществе мозга, нечеткость контуров и вакуолизация нервных клеток, увеличение количества ядрышек и выталкивание их из ядра, утолщение стенок сосудов и пролиферация глии.

Сравнение подопытных животных II серии опытов с контрольными II группы показывает примерно такие же отношения. У первых, по сравнению со вторыми, отставало рубцевание, отсутствовала реиннервация пораженной мышцы (в то время как у вторых она имелась), были ослаблены и дольше сохранялись воспалительные явления в ней и резче были выражены изменения в межпозвоночных узлах. В спинном мозге различие было не столь заметным. В больших полушариях головного мозга изменения нервных клеток у подопытных животных встречались чаще, чем у контрольных, и кроме того отмечалось утолщение стенок сосудов.

У животных II серии опытов отмечалась более тяжелая картина гистопатологических изменений, чем у животных I серии опытов. Деструктивные изменения в зараженной мышце были выражены больше. Реиннервация этой мышцы, как уже сказано, вовсе не наступала (в то время как у животных I серии опытов она имелась). В межпозвоночных узлах и

спинном мозге чаще встречались и были больше выражены изменения нервных клеток и глии.

У оперированных после заражения животных I серии опытов, по сравнению с неоперированными животными III серии опытов, а также у контрольных II группы по сравнению с неоперированными III группы отмечалось ослабление деструктивных изменений в очаге поражения; регенерация травмированного нерва и реиннервации зараженной мышцы вначале задерживались, а затем ускорялись. В межпозвоночных узлах и в головном мозге у первых, по сравнению со вторыми, отмечалось ослабление гистопатологических изменений. В то же время реактивные изменения — явления первичного раздражения — у оперированных животных в ближайшее после операции сроки были выражены сильнее, чем у неоперированных.

Следует отметить, что внутримышечное введение 40%-го хлористого кальция у неинфицированных животных приводит к тяжелым медленно ликвидирующимся последствиям и в самой мышце и в нервной системе. Отмечается восходящая дегенерация нерва, иннервирующего мышцу; через 1,5 и 3 месяца после инъекции хлористого кальция в правую икроножную мышцу наряду с рубцеванием, пролиферацией мышечных и соединительнотканых ядер (в икроножных мышцах с обеих сторон) и прорастанием нервных пучков еще встречались воспалительные инфильтраты; в противоположной икроножной мышце наблюдались явления раздражения двигательных нервных окончаний.

В межпозвоночных узлах встречались вакуолизация и хроматолиз, гиперхроматоз, пикноз и нейронофагия некоторых нервных клеток, остаточные узелки, а в чувствительных корешках — воспалительные инфильтраты. В спинном мозге иногда отмечались гиперхроматоз, неравномерное распределение нислевского вещества и обкладывание глией нервных клеток (рис. 3), а также лизис нервных клеток и остаточные узелки. В продолговатом мозге встречались вакуолизированные или пикноморфные нервные клетки и иногда лизис отдельных клеточных элементов, обкладывание глией нервных клеток. В коре больших полушарий обнаружены растворение и разжижение нервных клеток, гиперхроматоз их, расширение капилляров и пролиферация глии (рис. 4).

Полученные нами результаты указывают на то, что усиление или ослабление патологического процесса, проявляющееся местно в зараженной лапке, в той или иной степени получило отражение и в нервной системе. Создается впечатление, что гистопатологическая картина в нервной системе, особенно в центральной, усложняется и становится более разнообразной в соответствии не столько со степенью интоксикации, сколько с длительностью и тяжестью местного патологического процесса. Упоминание об этом имеется и в литературе⁽⁹⁾. Это, возможно, зависит от силы и длительности действия раздражения, идущего из патологического очага, и является проявлением компенсаторных процессов. Вот почему после инъекции хлористого кальция в мышцу мы наблюдали далеко зашедший и распространившийся далеко за пределы очага повреждения нейродистрофический процесс. На функции уже изменившихся под влиянием чрезвычайных раздражений нервных образований каждое новое раздражение не может не сказаться. Оно может привести обратимые изменения к необратимым и таким образом вывести из строя те нервные образования, от которых зависит компенсация патологического процесса, и сорвать ее. Сказанное до некоторой степени разъясняет нам значение введения хлористого кальция в экспериментальной модели газовой гангрены. Если заражать животных, усилив хлористым кальцием нейродистрофический процесс, то оно заболевает от сравнительно небольшой дозы микробной извести.

В то же время наше оперативное вмешательство на нерве, иннервирующем зараженную мышцу, создало в нервной системе новые условия, которые обеспечили увеличение компенсаторных возможностей. Это воздействие, будучи примененным после заражения, сыграло положительную роль. За-

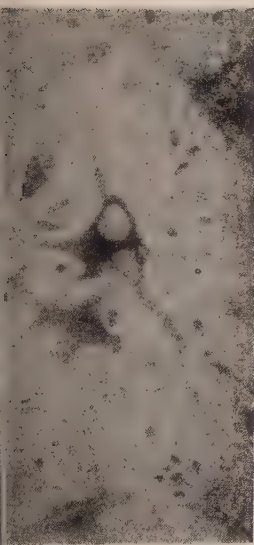


Рис. 1. Тяжелые изменения нервных клеток спинного мозга. Морская свинка погибла через 1 сутки после заражения. Ниссель. Микрофото. 288X

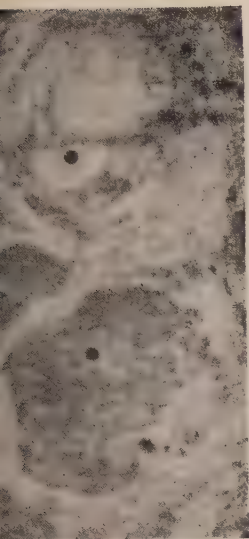


Рис. 2. Тяжелое изменение нервных клеток межпозвоночного узла. Морская свинка забита на 7 день после заражения. Ниссель. Микрофото. 450X

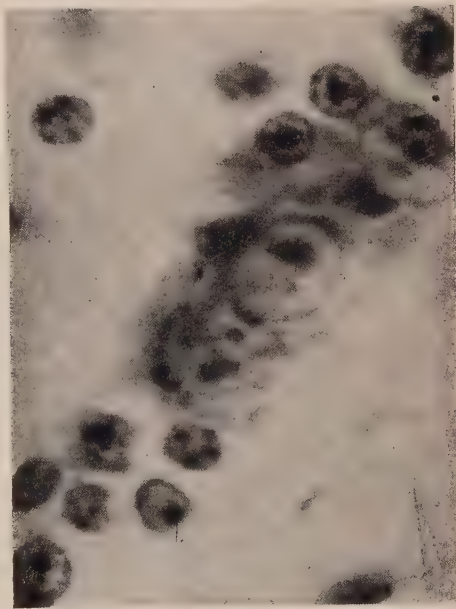


Рис. 3. Скопление глиальных элементов вокруг нервной клетки спинного мозга. Морская свинка забита на 45 день после инъекции в правую икроножную мышцу 40%-го CaCl_2 . Ниссель. Микрофото. 1350X



Рис. 4. Очаг поражения нервных элементов и пролиферации глии в коре большого полушария головного мозга. Морская свинка забита на 45 день после инъекции в правую икроножную мышцу 40%-го CaCl_2 . Ниссель. Микрофото. 450X

раздражение же на фоне травмы нерва утяжеляло течение патологического процесса. Это указывает на зависимость течения и исхода заболевания от того, в какой момент по отношению к моменту инфицирования организм получает дополнительное раздражение нервной системы.

Таким образом, можно прийти к заключению, что в возникновении, течении и исходе заболевания, вызванного *V. perfringens*, решающую роль играют процессы, разыгрывающиеся в нервной системе. Форма этих процессов, в свою очередь, связана с интенсивностью, длительностью и качеством поступающих в нее специфических и неспецифических раздражений.

Институт нормальной и патологической
физиологии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
15 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Чистович и др., Тр. Воен. Мед. Акад. им. Куйбышева, **35**, 39, 56, 73, 82, 91, 96 (1948). ² А. В. Смольяников, Арх. патол., в. I (1950). ³ D. Anders, Münch. Med. Wchschr., **38**, 11 XII (1917). ⁴ О. Я. Острый, Сборн. Проблема реактивности в патологии, 1954, стр. 27—34. ⁵ О. Я. Острый, З. И. Собиева, А. Н. Алиев, Тез. докл. 2-й Всесоюзн. конфер. патофизиологов, 1956, стр. 279—280. ⁶ Д. А. Арапов, Раневая анаэробная инфекция, М., 1950. ⁷ М. Л. Боровский, Регенерация нерва и трофика, 1952. ⁸ Е. А. Сквирская, Сборн. Проблема реактивности в патологии, 1954, стр. 150—157. ⁹ M. Robertson, The organisms associated with Gas Gangrene. A system of Bacteriology in relation to medicine, **3**, 257, 1929.

Т. Н. СОЛЛЕРТИНСКАЯ

ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВНО-РЕФЛЕКТОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У КРОЛИКОВ ПОСЛЕ ЭКСТИРПАЦИИ ВЕРХНИХ ШЕЙНЫХ СИМПАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ

(Представлено академиком Л. А. Орбели 14 IX 1956)

В исследованиях академика Л. А. Орбели ⁽⁴⁾ и его сотрудников были получены убедительные данные, указывающие на влияние симпатической нервной системы на рефлекторную деятельность различных отделов центральной нервной системы — спинного, продолговатого, среднего и промежуточного мозга, мозжечка и коры головного мозга.

Э. А. Асратян ^(1, 2) и Б. В. Павлов ⁽⁵⁾ показали, что после перерезки симпатических нервов и экстирпации шейных симпатических узлов у собак наблюдаются глубокие и длительные изменения условнорефлекторной деятельности, выражающиеся в исчезновении условных рефлексов, медленном их восстановлении, в нарушении равновесия между процессами возбуждения и торможения в сторону усиления последнего. Аналогичные нарушения наблюдали Ф. П. Майоров, М. И. Неменов и Л. С. Васильева ⁽³⁾, Г. В. Скипин ⁽⁷⁾ при раздражении верхних шейных симпатических узлов рентгеновскими лучами или токами Ледюка.

Ввиду того что все перечисленные работы были проведены на собаках, определенный интерес представляло исследование особенностей взаимоотношения функций симпатической нервной системы и коры головного мозга, у животных, стоящих на более низком уровне развития.

Изучение этого вопроса важно в связи с исследованиями А. Л. Поленова ⁽⁶⁾, показавшего, что влияние симпатической нервной системы на экспериментальные эпилептические припадки у морских свинок и кроликов выражено сильнее, чем у собак.

Наши исследования проводились на 7 кроликах, у которых вырабатывались двигательнo-пищевые положительные и отрицательные условные рефлексы. В условиях наших опытов положительные условные рефлексы, появившись впервые на 6—10 сочетании, упрочивались после 30—60 сочетаний. Выработка дифференцировочного торможения носила волнообразный характер.

С целью определения функциональной способности корковых нервных клеток до и после операции были применены некоторые формы перенапряжения основных нервных процессов.

Перенапряжение возбудительного и тормозного процессов вызывалось удлинением изолированного действия условного раздражителя с обычных 10 сек. до 1—2 мин., увеличением числа сочетаний, укорочением интервала между раздражениями, удлинением времени действия дифференцировочного раздражителя или же увеличением числа дифференцировок в один опытный день. Перенапряжение тормозного и возбудительного процессов в ряде случаев сопровождалось патологическими нарушениями высшей нервной деятельности, которые заключались в исчезновении условных и даже в ряде случаев безусловных рефлексов, в появлении парадоксальных фаз, негативных реакций, вегетативных нарушений в виде мочеиспускания.

резко выраженной гиперестезии, повышения температуры ушей, потери веса.

После проведения функциональных проб животным давался 2—3-недельный отдых и вслед за проверкой состояния условнорефлекторной деятельности производилось одностороннее или двухстороннее удаление шейных симпатических узлов.

Нарушения условнорефлекторной деятельности после операции были почти однотипными у всех оперированных животных. По характеру их можно было разделить на несколько периодов. I период, относящийся к первым послеоперационным дням (3—4 день после операции), характеризовался значительным снижением безусловных и условнорефлекторных реакций (рис. 1). Во II период, продолжавшийся в течение 5—6 опытных дней,

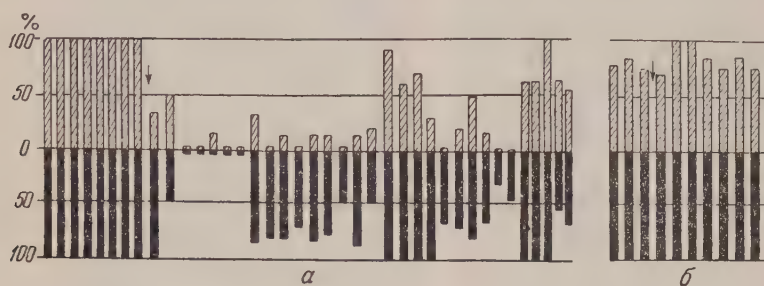


Рис. 1. Динамика высшей нервной деятельности у кролика после одностороннего двустороннего удаления верхних шейных симпатических узлов: а — опыт (кролик № 5), б — контроль (кролик № 7). Заштрихованные столбики показывают процент положительных реакций на условный раздражитель в каждый опытный день. Черные столбики — процент положительных реакций на безусловный раздражитель

отсутствовали как безусловные, так и условные пищевые рефлексы, причем эти явления были выражены ярче в случае двусторонней симпатэктомии (рис. 2, а и б). III период, охватывающий промежуток времени от конца 2 послеоперационной недели до 3 месяцев, нельзя охарактеризовать определенно.

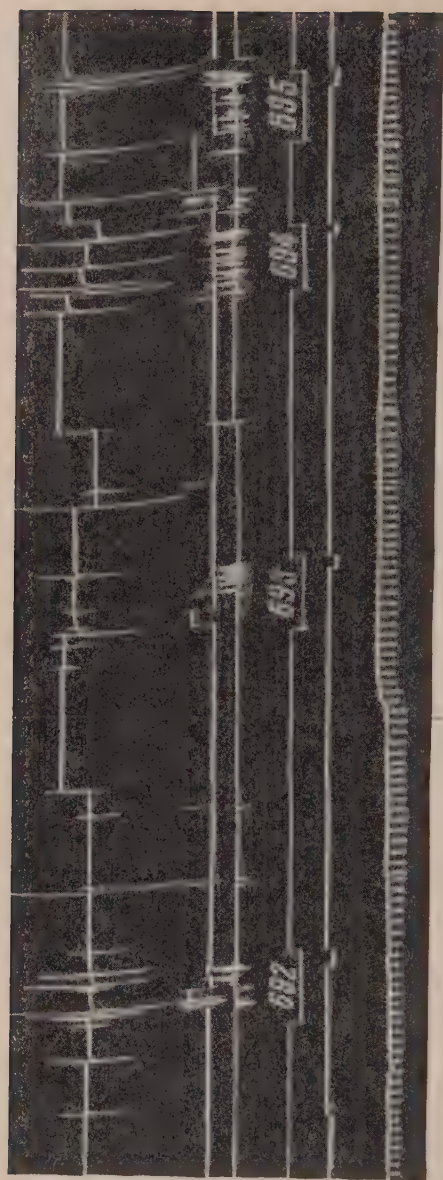
Условные рефлексы в это время стояли на очень низком уровне (в среднем 25—30%) и были чрезвычайно лабильными.

Опыты с некоторой вспышкой возбудительного процесса в виде хорошо выраженных 2—3 условнорефлекторных ответов, сопровождаемых двигательным беспокойством вначале и отсутствием всякой деятельности в конце, сменялись опытами, в которых наличие условнорефлекторного ответа чередовалось с его отсутствием в течение всего опыта.

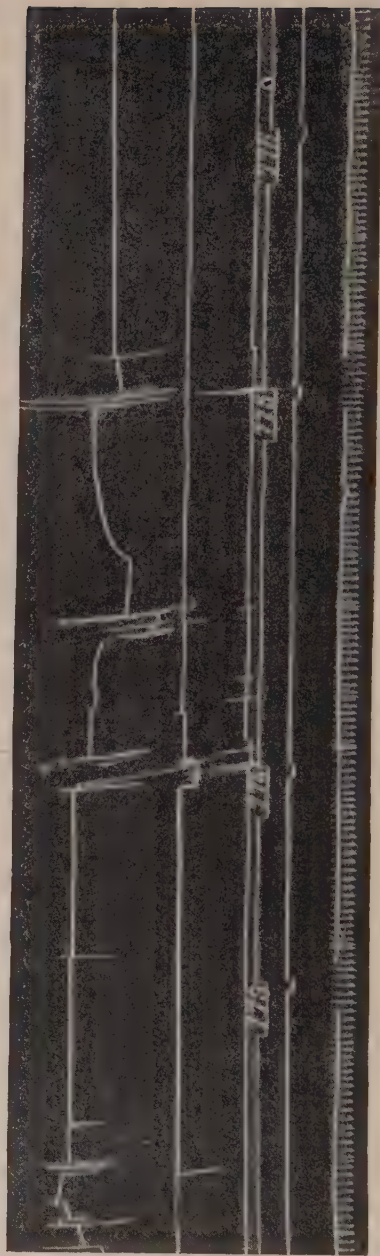
5—7-дневный отдых давал временное улучшение в течение 1—2 опытов, после чего картина условных рефлексов возвращалась к прежней. Так как для функционально ослабленной коры кроликов ежедневная работа по условным рефлексам была, очевидно, трудной задачей, мы перешли к постановке опытов через 1—2 дня. Хотя такая работа значительно улучшила условнорефлекторную деятельность и процент условных рефлексов достиг высокого значения (порядка 60—75%), все же он был ниже по сравнению с дооперационным уровнем.

Следует отметить одну особенность условнорефлекторной деятельности животных. Если до операции животные на звук условного раздражителя в большинстве случаев подходили к кормушке сразу или через 1—2 сек., то теперь латентный период условных реакций удлинился до 6—8 сек.

Помимо условнорефлекторной пострадала и безусловнорефлекторная деятельность. Постоянный высокий уровень безусловных рефлексов до операции (принятый нами за 100%) сменился частичным выпадением пищевых безусловных рефлексов в первые два послеоперационных дня (I период)



а



б

Рис. 2. Пищевые условные рефлексы кролика: а — до удаления верхних шейных симпатических узлов, б — после удаления верхних шейных симпатических узлов (условные рефлексы полностью отсутствуют, безусловные рефлексы непостоянны). Сверху вниз: движения кролика, подход к кормушке, взятие корма, отметка условных раздражителей, отметка безусловных раздражителей, отметка времени

и полным отсутствием их во II периоде, после чего наступило крайнее непостоянство рефлексов в III периоде, несмотря на сохранение дооперационных условий пищевого рациона.

Однако следует отметить, что наряду с опытами с низкими безусловными рефлексами наблюдались опыты с хорошо выраженными, очень высокими безусловными реакциями.

В дальнейшем при работе через день уровень безусловных рефлексов восстановился полностью до уровня дооперационного, но в отдельных опытах все же наблюдалось значительное удлинение латентного периода безусловных реакций.

Изменились и взаимоотношения между процессами возбуждения и торможения в сторону усиления тормозного процесса.

Если до операции ход образования дифференцировочного торможения носил волнообразный характер, дифференцировки часто растормаживались, а тонкую дифференцировку выработать не удалось, то после симпатэктомии дифференцировочное торможение усилилось. Показателем улучшения дифференцировочного торможения было не только полное отсутствие реакций на отрицательный условный раздражитель, но и отчетливо выраженная положительная индукция.

Если до операции выработка тонкой дифференцировки была для кроликов трудной задачей и вызывала обычно нарушения высшей нервной деятельности, то после десимпатизации тонкая дифференцировка, примененная в тех же пределах, как и до операции, осуществлялась без особых отклонений в высшей нервной деятельности.

Как уже было сказано, нами проведены функциональные пробы по перенапряжению тормозного процесса путем удлинения изолированного действия дифференцировочного раздражителя до 2—5 мин. и увеличения количества отрицательных раздражителей в одном опыте. Если этот способ перенапряжения тормозного процесса до симпатэктомии вызывал отчетливые нарушения высшей нервной деятельности в виде растормаживания дифференцировок, сильнейших межсигнальных реакций и вегетативных нарушений, то после симпатэктомии применение этой же пробы давало лишь в отдельных опытах растормаживание дифференцировок, но без межсигнальных реакций и вегетативных нарушений.

Контрольные опыты, проведенные с целью исключения влияния операционной травмы, показали, что разрез шеи, расслоение мышц, препаровка шейных симпатических нервов не вызывали никаких изменений в условно-рефлекторной деятельности (см. рис. 1, б). Изложенные выше результаты экспериментальных исследований показывают, что после удаления шейных симпатических узлов у кроликов наблюдаются довольно резкие нарушения условно- и безусловнорефлекторной деятельности. Характер этих нарушений позволяет считать, что при десимпатизации высших отделов центральной нервной системы наблюдается резкое ослабление возбуждательного процесса, на фоне которого, по-видимому, имеется некоторое улучшение тормозного процесса. Сравнивая результаты, полученные нами на кроликах, с результатами исследований Э. А. Асратяна, Б. В. Павлова и др. на собаках, можно прийти к заключению, что у кроликов удаление верхних шейных симпатических узлов оказывает на высшую нервную деятельность большее влияние, чем у животных более высоко организованных.

Поступило
16 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. А. Асратян, Арх. биол., 30, 243 (1930). ² Э. А. Асратян, Физиол. журн. СССР, 18, № 5, 739 (1935). ³ Ф. П. Майоров, М. Н. Неменов, Л. С. Вальева, Тез. докл. юбил. научн. сессии, посвящен. 100-летию со дня рождения акад. П. Павлова, М., 1949, стр. 85. ⁴ Л. А. Орбели, Лекции по физиологии нервной системы, М.-Л., 1938. ⁵ Б. В. Павлов, Тез. докл. научн. сессии Ленингр. гос. ун-та, Л., 1955, стр. 25. ⁶ А. Л. Поленов, Медицинское прибавление к Морскому журн., № 1—5, (1901), ⁷ Г. В. Скинпин, Докл. 7 Всесоюзн. съезда физиологов, биохимиков, фармакологов, М., 1947, стр. 204.

Г. В. ОРЛОВСКАЯ, А. Л. ЗАЙДЕС и А. А. ТУСТАНОВСКИЙ
ОБРАЗОВАНИЕ КОЛЛАГЕНА В ЭМБРИОГЕНЕЗЕ

(Представлено академиком А. И. Опариным 21 IX 1956)

Применение современных гистохимических методов в сочетании с электронной микроскопией и рентгеновским структурным анализом расширяет возможности в изучении проблемы фибриллогенеза. Пользуясь указанными методами, мы могли подойти к этому вопросу с новых позиций, позиций отыскания биохимических механизмов образования коллагеновых волокон и изучения поэтапного включения различных биологически активных веществ в процесс коллагенообразования.

Настоящая работа является первым опытом такого исследования. Получив на основании анализа данные о многофазности и многокомпонентности системы коллагена (¹, ²), мы, естественно, стали перед задачей проследить, как происходит начальное образование коллагена как сложного белково-полисахаридного комплекса. Если существует белково-полисахаридная основа коллагена — колластролин, то при образовании дефинитивного коллагенового комплекса она должна явиться той первичной фазой, на которую налагается другая составляющая — проколлаген, с которым связаны основные свойства коллагена.

Мы исследовали кожный покров плодов свиньи и коровы различных эмбриональных периодов от 5 до 13 недель. Материал изучался методами гистохимии, электронной микроскопии и рентгеновского структурного анализа.

Для гистохимического исследования материал фиксировался в холодном ацетоне и заливался в парафин; срезы были толщиной в 5—6 μ .

Помимо обычных гистологических, применялись методы окраски установленной специфичностью реакции и методы специфического разрушения компонентов ткани с последующей окраской. Производились следующие окраски: пикрофуксином, что, по нашим данным, специфично для проколлагена (³); толуидиновым синим и периодатфуксином для обнаружения полисахаридов различных типов; серебром по Футу; на рибонуклеиновую кислоту — по Браще; азаном по Гейденгайну и др. Эти окраски позволяли наблюдать детали клеточных и неклеточных структур. Производилась энзимная обработка тестикулярной гиалуронидазой, специфически разрушающей гиалуроновую кислоту и хондроитин-сульфат А и С (⁴); амилазой слюны, разрушающей гликоген, коллагеназой, разрушающей проколлаген (⁵), и кристаллической рибонуклеазой.

Изучение препаратов производилось при больших увеличениях — описываемые картины различимы только при увеличении около 1000 \times .

Для электронно-микроскопического исследования материал гомогенизировался или диспергировался звуком с частотой колебаний в 7, 13 и 20 кг; препараты натенялись хромом. Рентгеновская съемка производилась по большим углам.

У 5-недельных эмбрионов в соединительной ткани кожного покрова ядра крупные, круглые, интенсивно окрашены, располагаются близко друг от друга. Между ядрами, при окраске азаном, видны плотные синие волокна (тяжи), ограничивающие и связывающие между собой округлые территории. Эти волокна красятся пикрофуксином в коричневатый цвет и аргирфильны при окраске по Футу (описанные структуры следуют, по-видимому

смазывать как уплотненные границы эктоплазмы и ее отростки). Окраска по Футу выявляет, кроме того, отдельные зернистые волоконца нечеткой структуры, видимые только при увеличении больше $1000\times$, расположенные в цитоплазме. При окраске толуидиновым синим в цитоплазме неток, в непосредственной близости к ядру, виден ярко окрашенный зернистый метакроматический материал. После обработки гиалуронидазой метакроматического материала не видно. Периодат-фуксиновая реакция выявляет в цитоплазме слабо положительный нечетко контурированный зернистый материал.

При исследовании кожного покрова 5-недельного плода в электронном микроскопе обнаруживается большое количество бесструктурного материала. В неозвученном объекте волоконца видны только по краю такой структурной массы. После диспергирования звуковыми колебаниями являются слабо контурированные волокнистые образования с нечетко выраженной поперечной исчерченностью. В отдельных случаях удается наблюдать, что такие волоконца отходят от полюса ядра (рис. 1, а).

При дальнейшем развитии (эмбрионы свиньи 6—9 недель, эмбрионы коровы 8—9 недель) ядра становятся меньше, отодвигаются друг от друга, внутреннее строение плохо различимо. Видны более толстые тяжи (по-видимому, уплотнения эктоплазмы), отграничивающие участки ткани, в которых располагается ядро, и тонкие волоконца, хорошо выявляющиеся при окраске по Футу и различимые при окраске азаном. По мере развития эмбрионов количество тонких волоконцев увеличивается, они образуют сетевидное сплетение, особенно густое вокруг ядер (рис. 2, а). В этот период в цитоплазме видно большое количество мелкозернистого метакроматического материала, особенно обильного вокруг ядер (рис. 2, б). Яркость окраски и количество метакроматического материала к концу этого периода несколько уменьшается, в некоторых случаях ределяются метакроматически окрашенные волоконца. Возле отдельных ядер появляются небольшие участки пенистой эндоплазмы.

В электронном микроскопе видны нити с периодом повторяемости 280 Å. Такой тип фибрилл является преобладающим, однако уже у 5-недельного эмбриона коровы наблюдаются отдельные фибриллы с периодом повторяемости в 640 Å. Рентгенограмма кожного покрова не дает характерного для коллагенового комплекса интерференционного максимума 2,9 Å.

Дальнейшая трансформация состоит в том (эмбрионы свиньи 10—12 недель, эмбрионы коровы 11—13 недель), что ядра клеток становятся более четкими, овальными, по их полюсам в цитоплазме образуются длинные нитевидные «отростки», окрашивающиеся азаном в красно-оранжевый цвет. Волокна постепенно теряют сетевидное расположение, вытягиваются вдоль «отростков», покрывая их. Характер волокон меняется, они становятся более широкими, рыхлыми, располагаются параллельно друг другу; тонкие волокна окрашиваются азаном в интенсивный синий цвет, по Футу — серовато-сиреневый, пикрофуксином — в отчетливый розовый или малиновый. Толуидиновым синим волокна этого типа красятся в голубоватый цвет с метакроматическим оттенком, причем вначале между волокнами содержится некоторое количество зернистого метакроматического материала. В конце описываемого периода соединительная ткань кожного покрова состоит из структур, которые могут быть определены как ядерно-волоконистые образования: это ядро с двумя пучками волокон, объединенных у полюсов цитоплазматическими «отростками» (рис. 3); последние, вначале ярко окрашенные (окраска азаном) и хорошо отграниченные, постепенно теряют яркость цвета и четкость контуров и становятся слабо видимыми в пучке волокон. По краю пучков часто видны более толстые тяжи, сохраняющие гидрофильность.

У основания цитоплазматических отростков видны при окраске по Футу значительные скопления блестящих красных пиронинофильных

зерен. В ядрах видны крупные красные ядрышки. Окраска по Шабдаш выявляет большие скопления гликогена; зерна гликогена окружают ядра и в виде мантии одевают основание пучка (рис. 4). В тех ядерно-волоконистых образованиях, где цитоплазматические «отростки» уже теряются между волокнами, количество гликогена уменьшается, а затем гликоген совсем исчезает.

В электронном микроскопе наблюдается постепенное увеличение, а затем преобладание фибрилл с периодом повторяемости в 640 \AA (рис. 1, б).

На рентгенограмме виден характерный для коллагенового комплекса интерференционный максимум в $2,9 \text{ \AA}$.

Волокноподобные образования, видимые в световом микроскопе на ранних стадиях развития, представляют собой, по-видимому, уплотнения цитоплазмы, а не волокна, преобразующиеся в дальнейшем в коллагеновые. Об этом свидетельствует все направление развития волокнистых структур. В цитоплазме в этот период видны скопления мукополисахаридов и отмечается начало образования зернистых аргирофильных волоконцев. В электронном микроскопе этим структурам соответствуют, по-видимому, аморфный материал и слабо контурированные нити.

В последующие две-три недели в цитоплазме происходит накопление мукополисахаридов и образование аргирофильных волоконцев. По мере дальнейшего развития количество этих волоконцев увеличивается, количество же и яркость окраски зернистого метакроматического материала уменьшается. Таким образом, создается представление, что в построении волоконцев на этой стадии развития соединительной ткани участвуют как полисахариды, в том числе и сульфатированные мукополисахариды, так и белки (аргирофильная окраска и окраска азаном), т. е. состав волоконцев соответствует составу основы коллагеновой фибриллы—коллагромину. С этими представлениями согласуются данные Фиттон-Джексона (⁶), наблюдавшей в фиброгенных клетках гранулы, в состав которых входят мукополисахариды и белки; их присутствие этот автор связывает с выработкой межклеточного материала, не указывая, однако, направления и последовательности в образовании межклеточных структур.

В описываемый период электронно-микроскопически определяется уменьшение количества аморфного материала и увеличение фибриллярных элементов, которые приобретают более четкие контуры и хорошо определяют мелкую периодичность ($\sim 280 \text{ \AA}$). Электронно-микроскопические картины указывают на некоторое отличие этих фибрилл от нитей коллагромин: нити коллагромин бесструктурны, эмбриональные же фибриллы поперечнополосатые. Портер и Венами (⁷) наблюдали в культурах тканей образование фибрилл с периодом повторяемости 270 \AA , которые на концах расщеплены на отдельные тонкие нити. По-видимому, при разделении коллагенового комплекса мы наблюдали коллагромин, уже разделенный на отдельные нити.

Дальнейшее преобразование волокнистых структур коллагроминового типа состоит в присоединении проколлагена. Это следует предположить на основании возникновения малиновой окраски, специфичной для проколлагена, а также появления фибрилл с периодичностью в 640 \AA и характерных интерференций (в $2,9 \text{ \AA}$) на рентгенограмме.

Эта последняя фаза фибриллогенеза — период начала образования дефинитивных коллагеновых волокон — характеризуется появлением цитоплазматических «отростков» у полюсов ядра, которые ориентируют растущие и дифференцирующиеся волокна. У основания цитоплазматических отростков наблюдается скопление пиронинофильных, чувствительных к рибонуклеазе рибонуклеиновых зерен; в ядре видны крупные рибонуклеиновые ядрышки. О высокой активности клеток в этот период говорит и наблюдаемое нами скопление гликогена, распад которого может служить источником энергии для синтеза сложных биологических соединений.

Накопление рибонуклеиновой кислоты, играющей большую роль в осу-

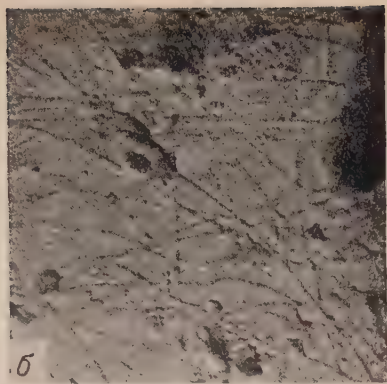
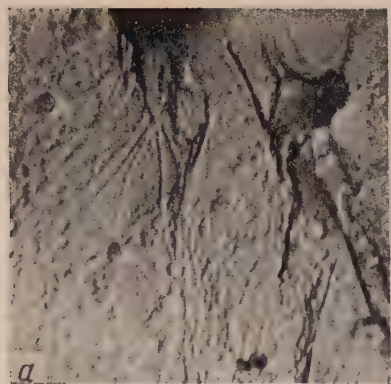


Рис. 1

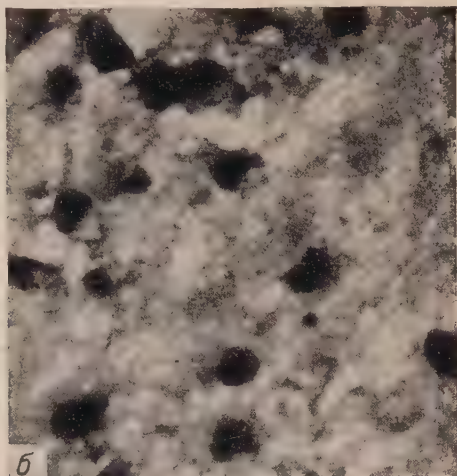


Рис. 2

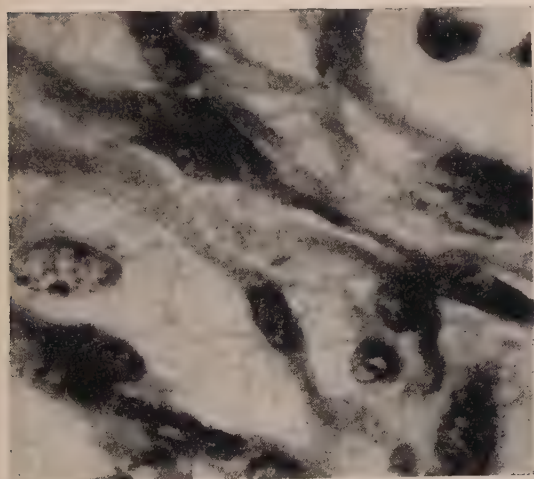


Рис. 3

Рис. 4

Рис. 1. Дисперсия кожного покрова эмбрионов. Электронная микрофотография, 12000X.
 а — эмбрион свиньи 5 недель, б — эмбрион коровы 13 недель

Рис. 2. Эмбрион коровы 9 недель, 1000 X. а — сетевидное сплетение аргирофильных волокон; окраска по Футу; б — мелкозернистый метахроматический материал в цитоплазме

Рис. 3. Эмбрион коровы 13 недель, 1000X. Ядерно-волокнистые образования
 Рис. 4. Эмбрион коровы 13 недель, 400 X. Скопление гликогена вокруг ядер и в цитоплазматических «отростках»

ствлении белкового синтеза (⁸, ⁹), указывает на то, что в этот период в клетке происходит образование белков, и среди них проколлагена, на появление которого согласованно указывают наши гистохимические, электронно-микроскопические и рентгено-структурные данные*. Сульфатированные мукополисахариды, входящие в состав волокон колластроминового типа, обладая выраженными электро-химическими функциями, сорбируют образующийся проколлаген, в результате чего возникают фибриллы коллагена; эти последние приобретают специфические морфологические особенности как на микроскопическом, так и на субмикроскопическом уровне.

Начало образования коллагеновых волокон происходит в цитоплазме клеток непосредственно возле ядра. Об этом говорят наши гистологические электронно-микроскопические наблюдения. На это же указывают электронно-микроскопические наблюдения Вассермана (¹⁰), который видел «первичные фибриллы» (с нашей точки зрения колластроминовые фибриллы) в цитоплазме фибробластов иногда в непосредственной близости к ядру на расстоянии ~ 250 Å. Рост и дифференцировка волокон обеспечивается высокой активностью фибробластов. Биосинтез белков, полисахаридов и других веществ, потребных для формирования коллагеновых волокон, осуществляется в результате специализированного клеточного обмена. При этом процессе происходит, по-видимому, избыточное накопление материалов, которые в дальнейшем образуют так называемое основное вещество вне зависимости от гистогенетических представлений о последнем, т. е. является ли это эктоплазмы или внеклеточное вещество), возможно являющееся источником для дальнейшего построения коллагеновых волокон при росте организма. Это представление совпадает с данными о наличии растворенного проколлагена в соединительной ткани («тропоколлаген») (¹¹). В окончательно сложившемся организме ядро уплощается и отодвигается к поверхности дефинитивного коллагенового пучка. Функция ядра редуцируется до минимума, достаточного для осуществления сбалансированного обмена коллагена и основной субстанции. По нашим предположениям, остатки клеточной эктоплазмы, по-видимому, сохраняются на коллагеновых волокнах в виде оболочки, особенности строения которой весьма изменчивы и определяются функцией соединительнотканых образований.

Приведенные выше данные указывают на то, что при эмбриональном развитии соединительной ткани волокнистые структуры закладываются в виде нитей (колластромина), в состав которых входят мукополисахариды и белки. Образование дефинитивной фибриллы коллагена происходит только в результате присоединения специфического белка — проколлагена. Эти наблюдения согласуются с представлениями о поликомпонентной природе коллагена, показанной нами на зрелых формах этого комплекса.

Персональная группа А. И. Струкова при
Академии медицинских наук СССР,
Центральный научно-исследовательский институт
кожевенной промышленности,
Институт экспериментальной патологии и терапии рака
Академии медицинских наук СССР

Поступило
11 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Тустановский, А. Л. Зайдес, Г. В. Орловская, А. Н. Михайлов, ДАН, 97, 121 (1954). ² А. Л. Зайдес, А. А. Тустановский, Г. В. Орловская, ДАН, 104, 563 (1955). ³ А. А. Тустановский, Г. В. Орловская, в кн. Современные методы и техника морфологических исследований, 1955, стр. 159. ⁴ K. Meyer, M. Rapport, Science, 113, 596 (1951). ⁵ К. И. Страцицкий, А. А. Тустановский, К. Ф. Фифорова, Вopr. мед. хим., 4, 237 (1952). ⁶ S. Fitton-Jackson, Nature, 175, 444, 39 (1955). ⁷ E. Porter, P. Vanamee, Proc. Soc. Exp. Biol. and Med., 71, 513 (1949). ⁸ Б. В. Кедровский, Усп. совр. биол., 31, 38 (1953). ⁹ E. Gale, Rapp. 3me Congr. Intern. Biochim., 71 (1955). ¹⁰ F. Wassermann, Am. J. Anat., 94, 399 (1954). ¹¹ J. Gross, H. Highberger, F. Schmitt, Proc. Nat. Acad., Sci., 41, 1 (1955).

* Менее интенсивное образование проколлагена имеет место и до периода коллагенизации. Этому вопросу будет посвящено специальное сообщение.

И. А. САДОВ

ОБРАЗОВАНИЕ МИКРОПИЛЕ У ОВОЦИТОВ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 5 IX 1956)

Изучение оболочек яиц осетра, севрюги и стерляди до овуляции, в момент овуляции и после нее показало, что представление о микропиле осетровых как об отверстиях (¹⁻⁴) неправильно. Микропиле — это каналы, заполненные довольно вязкой жидкостью; такое их строение способствует сохранению стерильности яиц во время оплодотворения.

Образование каналов и вытекающей из них жидкости происходит следующим образом. В период роста питание овоцитов осетровых рыб материнским организмом осуществляется по выростам фолликулярных клеток, располагающимся в области анимального полюса, над ядром. Питательные вещества, поступающие в овоцит, вступают в непосредственный контакт с ядром.

Трофические пути пронизывают все оболочки неклеточного строения и достигают непосредственно цитоплазмы. Они представляют собой конусообразные выросты фолликулярной оболочки (рис. 1), число которых колеблется от 3 до 19, что соответствует числу микропиле. Эти выросты в области наружной оболочки и *zona radiata externa* представляют относительно мощное образование, в котором располагаются даже ядра. Только в толще *zona radiata interna* выросты переходят в капилляры, диаметр которых равен нескольким микронам. Такое строение трофических путей формируется во время роста овоцита и образования оболочек неклеточного строения. Трофические пути в овоците появляются значительно раньше, нежели оболочки неклеточного строения. Диаметр трофических путей увеличивается по мере увеличения объема овоцита. Последнее вызывается тем, что с увеличением овоцита потребность в питательных веществах возрастает.

Как мы отмечали (⁵), оболочки неклеточного строения появляются в следующем порядке: *zona radiata interna*, *z. radiata externa* и, наконец, наружная оболочка. Трофические пути в этот период удлиняются на высоту последовательного образования трех слоев оболочек и увеличиваются при этом в диаметре. После образования *zona radiata interna* дальнейшее увеличение диаметра трофических путей в этом слое крайне затруднено. Образование *zona radiata externa* происходит довольно медленно, причем диаметр трофических путей в это время значительно увеличивается. Поэтому в новом слое диаметр трофических путей значительно больше, чем в предыдущем. К моменту образования наружной оболочки трофические пути еще более увеличиваются в диаметре. Таким образом, слои оболочек *zona radiata externa* и наружная, приподнимая над собой фолликулярную оболочку, обволакивают трофические пути уже больших диаметров.

Кроме описанных трофических путей, от фолликулярной оболочки выходит бесчисленное количество тончайших гомогенных белковых нитей. Из этих нитей состоят все три слоя оболочек неклеточного строения: наружная оболочка, *zona radiata externa* и *interna*. Нити берут начало от фолликулярных клеток и оканчиваются на поверхности светлого слоя цитоплазмы овоцита. Эти нити соприкасаются со светлым слоем цитоплазмы, но не

врастают в него. В дальнейшем развитии овоцита нити превращаются в узелки, оболочки постепенно утрачивают нитевидное строение и становятся гомогенными.

Многими авторами эти бесчисленные нити, идущие от фолликулярной оболочки, принимаются за трофические пути (2, 4). Такое мнение, очевидно, создано не на основании изучения развития овоцитов осетровых рыб, а по аналогии с костистыми рыбами, у которых *zona radiata* пронизана не гомогенными нитями, как у осетровых, а каналами, которые, по Мейену (3), и являются трофическими путями. Такое строение оболочек у костистых рыб описывает Чадри (6).

По нашим данным (5), гомогенные нити, из которых состоят оболочки, никакого отношения к трофической функции не имеют: оболочки овоцитов,

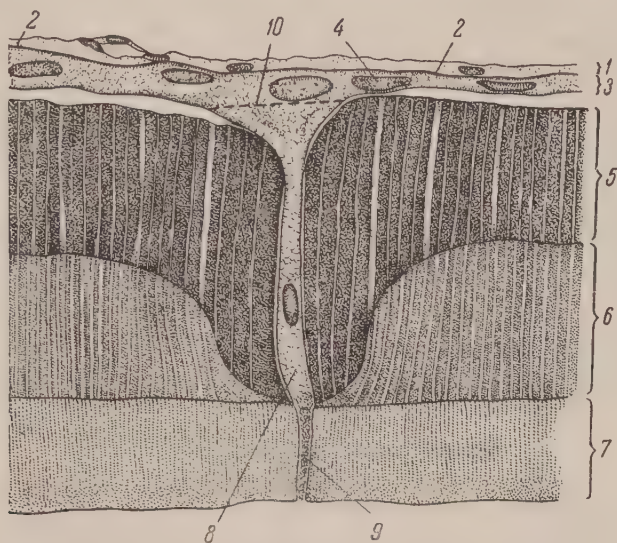


Рис. 1. Оболочки овоцита осетра на IV стадии зрелости гонады: 1 — сосудистая оболочка, 2 — мембрана, 3 — фолликулярная оболочка, 4 — ядра фолликулярного эпителия, 5 — наружная, или сотовая, оболочка, 6 — *zona radiata externa*, 7 — *zona radiata interna*, 8 — вырост фолликулярного синцития, 9 — самая тонкая часть трофического пути, и она же — будущий капилляр микропиле, 10 — линия отщуровывания выроста во время овуляции яйца

состоящие из этих нитей, удерживают яйцо в форме шара; трофическая же функция выполняется вышеуказанными выростами фолликулярной оболочки.

В связи с локализованным расположением трофических путей соответственно располагаются и кровеносные капилляры в сосудистой оболочке. У овоцитов севрюги на IV стадии зрелости, когда питание еще не прекращено, анимальный полюс покрыт густой сетью кровеносных сосудов.

На вегетативном полюсе имеется лишь один-два капилляра. Все кровообращение овоцита сосредоточено в его анимальной половине. У осетра таких различий в расположении кровеносных сосудов не наблюдается, но в области анимального полюса в фолликулярной оболочке наблюдается большее количество ядер, чем на вегетативном. Это также указывает на то, что интенсивное поглощение питательных веществ из фолликулярной оболочки производится анимальной частью овоцита, а не всей его поверхностью.

Во время овуляции трофические пути и нити наружной оболочки отщуровываются от фолликулярной оболочки. В результате этого трофические пути в виде тяжей остаются в толще неклочных оболочек (рис. 2, а).

После попадания яйца в воду остатки трофических путей, находящихся в оболочках, оводняются и разжижаются. Образовавшаяся жидкость вытекает наружу. Таким образом в оболочках и образуются те каналы с довольно вязкой жидкостью, через которые проникают сперматозоиды.

Выделяющаяся во время оплодотворения белковая жидкость в рыбноводном тазу образует вязкую, киселеобразную слизь. Эта слизь дополнительно образуется за счет оводнения белковых капелек, располагающихся в наружном крае *zona radiata externa* и выделяющихся наружу также во время попадания яйца в воду ⁽⁵⁾.

После проникновения сперматозоида в яйцо жидкость, находящаяся в капилляре микропиле, вероятно под ферментативным воздействием спермия, немедленно уплотняется до такой степени, что другие проникшие сперматозоиды не в силах преодолеть ее вязкость и остаются в капилляре воронки микропиле (рис. 2, б, на вклейке к стр. 1280). После этого остатки трофических путей в оболочках исчезают. Оболочки неклеточного строения становятся гомогенными.

Таким образом, возможность проникновения сперматозоидов в овоциты осетровых рыб обеспечивается физико-химическими свойствами деструктивного вещества, образующегося из трофических путей. Физико-химическое свойство остатков трофических путей — способность их при попадании в воду разжижаться — и лежит в основе образования микропиле.

Благодаря способности деструктивного вещества трофических путей уплотняться под воздействием ферментов сперматозоида осуществляется регуляция проникновения сперматозоидов в яйцо.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
26 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Заленский, Тр. общ. естеств. при импер. Каз. универс., 7, в. 3 (1878)
² Т. А. Детлаф, А. С. Гинзбург, Зародышевое развитие осетровых рыб, 1953. ³ В. А. Мейен, Изв. АН СССР, сер. биол., № 3 (1939). ⁴ Н. А. Ольшванг, Изв. Пермск. биол. н.-и. инст., 10, вып. 8 (1936). ⁵ И. А. Садов, ДАН, 112, № 1 (1956). ⁶ Н. S. Chaudhry, Zs. f. Zellforsch. u. Mikr. Anat., 43, Н. 5 (1956).

ПАРАЗИТОЛОГИЯ

Академик Е. Н. ПАВЛОВСКИЙ и А. Н. СКРЫННИК

К БИОЛОГИИ КЛЕЩЕЙ *ORNITHODORUS PAPILLIPES*

Клещи рода *Ornithodorus* встречаются во многих местах тропиков и субтропиков; многие виды их являются переносчиками спирохет — возбудителей клещевого возвратного тифа. Биология *O. papillipes*, широко распространенного в Средней Азии, и некоторых зарубежных видов изучена в основном хорошо. Однако многолетние сборы и, особенно, длительное хранение живых клещей в лаборатории, позволили нам установить ряд фактов, неизвестных в мировой литературе для каких-либо других видов этого рода.

Новые данные касаются продолжительности жизни клещей *O. papillipes*, их способности к длительному голоданию, замедленности превращения клещей и длительности сохранения в них спирохет. Мы уже сообщали о 17-летнем сроке жизни этих клещей⁽²⁾ и высказывали предположение, что этот срок не является предельным. В 1956 г. исполнилось 20 лет со времени поступления некоторых групп клещей в нашу лабораторию, причем отдельные особи остаются живыми, хотя условия их содержания были далеко не всегда благоприятными.

Группа 35—Памир, р. Шах-Дара, 1936 г. Сбор Г. Я. Змеева. Для проверки естественной зараженности спирохетами клещи кормились 19 I 1937 на морской свинке. Всего было 46 клещей, сосали — 44; свинка заболела спирохетозом. При следующем кормлении, 15 III 1940 г., клещей было — 40: 5 самцов, 4 самки и 31 нимфа; напитались все, свинка осталась здоровой.

В дальнейшем клещи были оставлены для опытов с голоданием. Через десять лет — 15 III 1950 г. живыми остались 5 нимф; из них 2 оставлены для дальнейшего голодания, 3 были посажены на свинку: 2 нимфы хорошо напитались, третья не присосалась и вскоре погибла. Напитавшиеся нимфы вскоре слиняли, одна на самку, вторая снова на нимфу. В марте 1954 г., после 4 лет повторного голодания, клещи были накормлены. И самка и нимфа хорошо напитались. В январе 1955 г. нимфа погибла, после того как прожила в лаборатории более 18 лет, да еще какой-то срок до того, как она была поймана, не превратившись в половозрелого клеща (в лаборатории кормилась 4 раза). Второй клещ, теперь — самка, живет по настоящее время, т. е. 20 лет.

Из 2 нимф, которые были оставлены для дальнейшего голодания, одна погибла в начале 1951 г., вторая кормилась 9 IV 1951 г., через 11 лет 25 дней после предшествующего кормления. Нимфа присосалась к морской свинке почти моментально и за 34 минуты хорошо напилась. Во второй половине 1951 г., на шестнадцатом году жизни в лаборатории, нимфа слиняла на самку. В феврале 1955 г. самка кормилась на белой мыши. При проверке клещей 23 IV 1956 г. самка была жива, помещенная на свету она хорошо передвигалась, а на следующий день погибла.

Таким образом, из наблюдений только за одной этой группой можно сделать следующее заключение:

1. Подтверждается ранее установленная продолжительность срока жизни клещей. В лабораторных условиях он прослежен до 20 лет, при-

чем из группы, состоявшей в 1936 г. из 46 клещей, до 1956 г. дожили 2 клеща.

2. Наблюдался рекордный срок голодания. Один клещ за 20 лет жизни в лаборатории питался только 4 раза: в 1937, 1940, 1951 и 1955 гг., т. е. с промежутками между кормлениями в 3 года, 11 лет, 4 года.

3. Установлено необычайно замедленное развитие клещей в условиях голодания. Один клещ в течение 18 лет жизни в лаборатории оставался нимфой, в то время как при благоприятных условиях все развитие от яйца до имаго занимает менее года.

Группа 45 — Памир. Хорог. Хлева, 1937 г. Сбор И. А. Москвина. Здесь наблюдался еще более длительный срок нимфальной фазы. Кормление этих клещей в лаборатории показало:

15 II 1938 напитались все 210 клещей, морская свинка заболела спирохетозом.

5 VIII 1940 напитались 187 (8♂, 10♀, 169 N), не сосали 2 клеща, остальные погибли. Свинка заразилась.

18 XI 1948 напитались 4 нимфы, остальные клещи погибли. Свинка осталась здоровой.

19 III 1954 напитались две нимфы, остальные 2 клеща погибли.

После этого кормления нимфы слиняли: одна на самку и вторая — снова на нимфу. В настоящее время оба клеща живы; за 19 лет жизни в лаборатории они кормились 4 раза с промежутками в 2, 8, 5 лет. С 1937 г. до 1956 г. из 210 клещей дожили 2 клеща, один из которых находится в фазе нимфы, как и 19 лет назад.

20-летняя продолжительность жизни *O. papillipes* наблюдалась и в других группах.

Группа 37 — Кишлак Бигма, скотный двор, 1936 г. Первоначально в группе было 12 клещей, в настоящее время жива 1 самка. За 20 лет жизни в лаборатории клещи кормились 11 раз (1936, 1938, 1940, 1943, 1946, 1948, 1950, 1951, 1953, 1954, 1955 гг.); наиболее длительный промежуток между кормлениями равнялся 3 годам.

Таблица 1

Год сбора или выведения клещей	Число живых клещей в 1956 г.	Из них		
		самцов	самок	нимф
1936	4	1	3	0
1937	41	30	10	1
1939	84	57	20	7
1940	210	89	110	11

Группа 17 — Памир, Лангар, Вахан, сарай в левом кишлаке 21 VIII 1936 г., сбор Г. Я. Змеева. В группе было 168 клещей, через 20 лет живым остался 1 самец. Кормились клещи 12 раз (1937, 1940, 1941, 1943, 1946, 1948, 1949, 1951, 1952, 1953, 1954, 1955 гг.); наибольший промежуток между кормлениями — 3 года.

Группа 12 — Памир. Вахан, Лангарская застава, старые сараи 24 VIII 1936 г. В группе было 110 клещей *O. papillipes* и *O. lahorensis*; через 20 лет жива 1 самка *O. lahorensis*; она питалась 7 раз (1937, 1940, 1941, 1943, 1948, 1953, 1955 гг.). Следовательно, *O. lahorensis* также могут жить очень долго.

В табл. 1 приводятся данные о наиболее старых клещах *O. papillipes*, живущих в лаборатории.

Замечательно, что при такой долгой жизни некоторые из *O. papillipes* все еще не достигли половозрелости.

Размножение клещей наблюдалось в лаборатории на 17, 18 и 20 году жизни.

В последнее время в литературе появились утверждения, что половозрелые клещи не могут долго хранить спирохет и с течением времени теряют инфицирующую способность (^{1,3}). Отрицательный результат при кормлении естественно зараженных клещей неоднократно наблюдался и нами. Но клещи кормятся редко, в среднем один раз в год, и при каждом последующем

ормлении количество клещей уменьшается, так как часть клещей погибает. Поэтому вполне вероятно, что отрицательный результат вызывается гибелью зараженных клещей, а не потерей ими инфицирующей способности.

Мы могли бы привести ряд данных, свидетельствующих о том, что половозрелые клещи неоднократно заражали опытных животных. Ограничимся одним примером.

Группа 108 — Таджикистан. Кишлак Гишун, остройка, 18 IX 1937 г., Г. Я. Змеева. При кормлении клещей 1938, 1940 и 1944 гг. свинки остались здоровыми; 25 IX 1946 15 клещей, именно: 9 самцов, 2 самки и 4 нимфы кормились на зараженной свинке; сосали все 15 клещей. В дальнейшем клещи кормились на здоровых свинках:

29 X 1948	питалось 8 самцов и 4 самки—свинку заразили
29 VI 1950	5 самцов, 3 самки — "
29 VIII 1951	" 1 самец—свинку заразил "
23 IV 1953	" 2 самца — результат отрицательный
30 IX 1954	" 1 самец—свинку заразил
27 IV 1956	" 1 самец — результат отрицательный

Здесь половозрелые клещи заражали морских свинок 4 раза на протяжении 6 лет.

Более важным эпидемиологическим фактором является общая продолжительность сохранения спирохет в организме клещей, независимо от фазы превращения последнего. Такая продолжительность прослежена нами до 6 лет. Приведем один пример. Группа 7—1939. Клещи *O. papillipes* вывелись в лаборатории в 1939 г. от зараженных клещей, собранных в Кара-Калакки, и получили спирохет трансвариальным путем. Было накормлено 36 личинок; в настоящее время из этой группы осталось только 5 живых клещей — все самцы. За 17-летний период жизни в лаборатории эти клещи кормились 10 раз; только при первом кормлении, когда питались личинки при последнем — в апреле 1956 г., когда питались 5 самцов,— клещи не заражали подопытных животных. При остальных восьми кормлениях в период между 1940 и 1954 г. клещи вызывали спирохетоз морских свинок. Следовательно, клещи потомства самок, зараженных в 1939 г., и в 1954 г. сохраняли еще инфицирующую способность.

Все вышесказанное дает основание считать клещей *Ornithodoros* основным резервуаром спирохет клещевого возвратного тифа в природе.

Военно-медицинская Академия
им. С. М. Кирова

Поступило
1 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. М. Исаев, Медиг. паразитология и паразитарные болезни, 25, 1 (1956).
Е. Н. Павловский, А. Н. Скрынник, ДАН, 78, 5 (1951). ³ М. С. Фомин, Вопр. краевой паразитологии, Ташкент, 4 (1954).

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК СССР

Том 111

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

I. МАТЕМАТИКА

- А. Барбашин.** О двух схемах доказательства теорем об устойчивости по первому приближению 9
- И. Вишик и Л. А. Люстерник.** Стабилизация решений некоторых дифференциальных уравнений в гильбертовом пространстве 12
- И. Климов.** Оценки сверху некоторых теоретико-числовых функций 16
- А. Красносельский, С. Г. Крейн и П. Е. Соболевский.** О дифференциальных уравнениях с неограниченными операторами в банаховых пространствах 19
- Р. Лаврук.** Условия разрешимости одной граничной задачи для систем линейных дифференциальных уравнений второго порядка эллиптического типа 23
- М. Никольский.** Граничные свойства функций на областях с углами 26
- И. Рехлицкий.** Об устойчивости решений некоторых линейных дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом в банаховом пространстве 29
- С. Солодовников.** Геодезические классы пространств $V(K)$ 33
- Д. Софронов.** К приближенному решению сингулярных интегральных уравнений 37
- В. Хведелидзе.** О разрывной граничной задаче Римана — Привалова с коэффициентом, имеющим критические точки 40
- А. Чикин.** Об устойчивости краевой задачи Римана 44
- А. Беклемишева.** Об асимптотическом поведении решений некоторых нелинейных систем дифференциальных уравнений 261
- В. Быков.** К проблеме существования собственных векторов нелинейных операторов 265
- Д. Вентцель.** Полугруппы операторов, соответствующие обобщенному дифференциальному оператору второго порядка 269
- И. Вишик и Л. А. Люстерник.** Стабилизация решений параболических уравнений 273
- И. П. Егоров.** Римановы пространства второй лакуарности 276
- Б. И. Коренблюм.** Обобщения тауберовой теоремы Винера и спектр быстро растущих функций 280
- М. А. Красносельский.** О применении методов нелинейного функционального анализа в некоторых задачах о периодических решениях уравнений нелинейной механики 283
- Б. Р. Лаврук.** Об индексе одного оператора граничной задачи для эллиптической системы линейных дифференциальных уравнений второго порядка 287
- О. А. Ладыженская.** О построении разрывных решений квазилинейных гиперболических уравнений как пределов решений соответствующих параболических уравнений при стремлении «коэффициента вязкости» к нулю 291
- Н. Я. Лященко.** Аналог теоремы Флоке для одного частного случая линейных однородных систем дифференциальных уравнений с квазипериодическими коэффициентами 295
- Ш. С. Пхакадзе.** Некоторые предложения, эквивалентные гипотезе континуума 299
- В. А. Табуева.** Применение метода последовательных приближений к нахождению сепаратрис 301
- Б. В. Хведелидзе.** Сингулярные интегральные уравнения с ядрами Коши в классе функций, суммируемых свесом 304
- Н. В. Азбелев и Л. В. Тонков.** Теорема об оценке погрешности приближенного решения дифференциального уравнения 515
- Н. Д. Введенская.** Решение задачи Коши для нелинейного уравнения с разрывными начальными данными методом конечных разностей 517
- М. И. Вишик и С. Л. Соболев.** Общая постановка некоторых краевых задач для эллиптических дифференциальных уравнений в частных производных 521
- М. Г. Гендлер.** Об однопараметрических группах функциональных преобразований 524

Н. П. Гольдина. Свободные нильпотентные группы	528
В. П. Маслов. Теория возмущений линейных операторных уравнений и проблема малого параметра в дифференциальных уравнениях	531
Р. М. Минц. О характере состояния равновесия системы трех дифференциальных уравнений в случае, когда один из корней характеристического уравнения равен нулю	535
С. А. Орлов. К теории резольвенты одномерной регулярной краевой задачи	538
Н. А. Погодичева и А. Ф. Тиман. Об одном соотношении в теории суммирования интерполяционных полиномов и рядов Фурье	542
Д. Ф. Харазов. К спектральной теории вполне непрерывных операторов	544
Г. И. Эскин. Об одной минимум-задаче в пространстве L	547
В. Н. Блюменфельд. О единственности предельного распределения для систем стохастических дифференциальных уравнений	739
Н. Я. Виленкин. К теории присоединенных сферических функций	742
И. М. Гельфанд, А. Н. Колмогоров и М. А. Яглов. К общему определению количества информации	745
М. М. Джрбашян. Об асимптотическом приближении целыми функциями в полуплоскости	749
М. С. Пинскер. Вычисление скорости создания сообщений стационарным случайным процессом и пропускной способности стационарного канала	753
А. В. Погорелов. Непрерывные отображения ограниченной вариации	757
Д. А. Райков. Связки гиперплоскостей в линейных пространствах	760
В. В. Рыжков. Метрическое тангенциальное изгибание поверхностей	763
Н. С. Синуков. Нормальные геодезические отображения римановых пространств	766
В. Г. Срагович. О вероятностном обосновании статистики нестационарных систем	768
А. Ф. Тиман и Л. И. Тучинский. Приближение дифференцируемых функций, заданных на конечном отрезке алгебраическими многочленами	771
А. В. Штраус. Формула обобщенных резольвент дифференциального оператора четного порядка	773
И. Берштейн и А. Халанай. Индекс особой точки и существование периодических решений систем с малым параметром	923
М. С. Бродский. О жордановых клетках бесконечномерных операторов	926
А. А. Гончар. О новом квазианалитическом классе функций	930
В. В. Иванов. Приближенное решение сингулярных интегральных уравнений в случае разомкнутых контуров интегрирования	933
Н. А. Кашеев. Точная граница применимости теоремы С. А. Чаплыгина для линейного уравнения	937
М. А. Крейнс, И. А. Вайнштейн и Н. Д. Айзенштат. О номографировании функций, заданных на сетке	9
А. В. Погорелов. Распространение теоремы Гаусса о сферическом изображении на случай поверхностей ограниченной внешней кривизны	9
Д. В. Салехов. О норме линейного функционала в пространстве Орлича и об одной внутренней характеристике пространства L_p	9
В. И. Соболев. О расщеплении линейных операторов	9
А. Ф. Тиман. Обобщение одной теоремы Стона	9
Хан Хен Гон. О некоторых классах топологических пространств	9
Г. Г. Шлионский. К теории ограниченных однолистных функций	9
Е. А. Бредихина. Об абсолютной сходимости рядов Фурье почти-периодических функций	11
М. Г. Крейн. К теории акселерант и S -матриц канонических дифференциальных систем	11
О. Б. Лупанов. О вентильных и контактно-вентильных схемах	11
С. А. Орлов. Конструкция резольвент и спектральных функций одномерных линейных самосопряженных сингулярных дифференциальных операторов 2 -го порядка	11
В. А. Плисс. Исследование одного нелинейного дифференциального уравнения третьего порядка	11
Н. И. Польский. Об одной общей схеме применения приближенных методов	11
М. К. Потанов. О теоремах типа Джексона в метрике L_p	11
В. И. Протасов. Об одном линейном дифференциальном уравнении бесконечного порядка	11

II. МЕХАНИКА

Е. П. Попов. Одно обобщение асимптотического метода Н. Н. Боголюбова в теории нелинейных колебаний	3
И. И. Аргоболевский. Механизм циссидографа для образования гипербола	5
Ю. М. Иванов. О явлении высокой эластичности у набухшей древесины	9
Н. А. Цытович. Об определении сил сцепления связных грунтов по методу шариковой пробы	9
С. С. Вялов и Н. А. Цытович. Оценка несущей способности связных грунтов по величине вдавливания сферического штампа	11

III. ГИДРОМЕХАНИКА

Л. В. Овсянников. Новое решение уравнений гидродинамики	9
Г. А. Домбровский. О струйном обтекании с дозвуковыми скоростями решетки плоских пластинок	9
Э. И. Андрианкин. Задачи о сильном взрыве, близком к сферическому	9
В. П. Коробейников. Приближенные формулы для расчета характеристик фронта ударной волны при точечном взрыве в газе	9
Л. И. Седов. О движении газа при звездных вспышках	9

И. М. Яворская. Решение некоторых задач о детонации в среде с переменной плотностью	783
Л. Гроздовский. Автомодельное движение газа при сильном периферийном взрыве	969

IV. ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

И. И. Розовский. Полусимволический способ решения некоторых задач теории наследственной упругости	972
---	-----

V. АСТРОНОМИЯ

О. Мохнач. О вековом ускорении и замедлении движения короткопериодических комет	50
Л. Ошерович, С. Ф. Родионов и В. Е. Яхонтова. Об абсолютной яркости некоторых участков Млечного Пути	346

VI. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. Добрышман и А. Ф. Дюбюк. О решении уравнения $(\frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial t} \Delta - \Delta)u = f$	55
П. Маслов. Метод теории возмущений для отыскивания спектра обыкновенных дифференциальных операторов с малым параметром при старшей производной	977
Я. Христов. О функции Грина кинетического уравнения нейтронов. — Приближенное выражение для функции Грина кинетического уравнения нейтронов	981 1197

VII. ФИЗИКА

В. В. Гавриловский, В. Я. Головня, К. В. Караджев, А. П. Ключарев и В. И. Манько. Поляризация протонов малой энергии при рассеянии на углероде	59
Е. Глауберман. К теории реального газа с нецентральной законом взаимодействия частиц	63
С. Лившиц. О матрице рассеяния промежуточной системы	67
И. Никольский, Ю. Н. Вавилов и В. В. Батов. Исследование ядерно-активной компоненты широких атмосферных ливней космического излучения	71
Андрей Попович. Нелинейная конформная взаимность	74
Я. Свешников. К теории концентрационного тушения флуоресценции растворов	78
В. Сорокин и А. Я. Таранов. Поляризация протонов, упруго рассеянных ядрами C^{12}	82
Л. Безбатченко, И. Н. Головин, Д. П. Иванов, В. Д. Кириллов и Н. А. Явлинский. О влиянии продольного магнитного поля на импульсный газовый разряд с большой силой тока	319
Г. Березняк и Б. Н. Есельсон. Энергетический спектр примесей Ne^3 , растворенных в $He II$	322
А. Ельяшевич и О. Н. Никитина. Три-	

плетно-квинтетные переходы в спектре атома кремния	325
Е. К. Завойский и Г. Е. Смолкин. О межмолекулярном переносе энергии возбуждения в кристаллах	328
Е. А. Колтыпин и В. М. Морозов. Оценка верхней границы сечения радиационного захвата нейтронов резонансной энергии (275 кэв) изотопом Li^7	331
А. А. Соколов, Д. Д. Иваненко и И. М. Тернов. О возбуждении макроскопических колебаний квантовыми флуктуациями	334
В. В. Судаков. Рассеяние мезона на мезоне в квантовой мезонной теории поля	338
Ж. С. Такибаев, П. А. Усик и М. Г. Антонова. К вопросу о генерации π -мезонов частицами большой энергии космических лучей	341
Л. А. Халфин. Условие причинности и критерий физической осуществимости в квантовой теории поля	345
А. Т. Вартанян и И. А. Карпович. Электропроводность и фотопроводимость фталоцианинов	561
Е. Ф. Гросс и Б. П. Захарченя. Линейный и квадратичный эффекты Зеемана и диамагнетизм экситона кристалла закиси меди	564
Б. Н. Есельсон, Н. Г. Березняк и М. И. Каганов. λ -Температуры растворов изотопов гелия	568
Ф. М. Куни. О дисперсионном соотношении для рассеяния нуклонов на нуклонах	571
В. С. Машкевич и К. Б. Толыго. Взаимодействие колебаний неполярных кристаллов с электрическими полями	575
В. Г. Соловьев. Функции распространения нуклона в квадратичном приближении	578
Н. А. Толстой. Вспышечное разгорание свечения в цинк-сульфидных фосфорах и двухступенчатый механизм возбуждения	582
А. С. Бродский. К общей теории рассеяния мезонов	787
Г. В. Горлов, Б. М. Гохберг, В. М. Морозов и Г. А. Отрощенко. Измерения эффективного сечения реакции $Li^6(p, t)Ne^4$ в интервале энергий нейтронов от 9 до 700 кэв	791
Л. П. Кудрин и Б. А. Никольский. Взаимодействие быстрых π -мезонов с ядрами	795
М. С. Лившиц. О промежуточной системе, образующейся при рассеянии элементарных частиц	799
М. П. Лисица. Спектрофотометрический метод исследования дисперсии и поглощения твердых веществ	803
А. Н. Мурин, В. Д. Нефедов, В. И. Барановский и Д. К. Попов. Обогащение радиоактивных изотопов мода, германия, мышьяка и сурьмы, получаемых по реакции (γ, n)	806
В. Ф. Ноздрев и В. Д. Соболев. Измерение поглощения ультразвуковых волн в этилацетате по линии насыщения импульсным методом двойного фиксированного расстояния	808

Л. М. Шамовский, А. А. Дунина и М. И. Гостева. Исследование ионной проводимости KJ(11) фосфоров . . .	811
М. И. Шапаронов. К теории поляризации диэлектриков . . .	815
К. П. Белов и И. К. Панина. Определение спонтанной деформации решеток при ферромагнитном превращении . . .	985
Б. Б. Говорков, В. И. Гольдманский, О. А. Карпунин, А. В. Куценко и В. В. Павловская. Упругое рассеяние γ -квантов с энергией до 120 Мэв протонами . . .	988
Л. С. Дулькова, И. Б. Соколова и М. Г. Шафранова. Рассеяние положительных и отрицательных π -мезонов с энергией 300 Мэв на водороде . . .	992
Е. К. Завойский, М. М. Бутслов и Г. Е. Смолкин. Предельный коэффициент усиления и собственные шумы электроннооптических усилителей света . . .	996
В. В. Соболев. Перенос излучения в неоднородной среде . . .	1000
В. З. Бланк и Д. В. Ширков. Асимптотические исследования вершинной части в квантовой электродинамике . .	1201
Э. Г. Горжевская и Н. М. Панова. Фотообразование медленных π -мезонов на сложных ядрах . . .	1205
Л. Н. Дерюгин и Г. Х. Фридман. Резонансные кривые двойного резонанса на отражательной решетке . . .	1209
В. И. Карпман и И. З. Фишер. Об аннигиляции позитронов в металлах . .	1212
В. С. Комельков и Д. С. Парфенов. Расширение канала искры в воздухе при токах около $2 \cdot 10^6$ ампер . . .	1215
Ю. Л. Соколов, М. М. Сулковская, Е. А. Альбицкая и Э. И. Карпушкина. Уровни ядра Li^6 . . .	1219
Ю. М. Широков. Об условиях релятивистской инвариантности квантовой теории . . .	1223
Э. В. Шпольский и Л. А. Климова. Эмиссионный спектр коронена в растворах при низких температурах . .	1227

VIII. ГЕОФИЗИКА

В. И. Арабаджи. Об измерении напряженности электрического поля в грозовых облаках с помощью радиозонда . . .	85
В. В. Шулейкин. Уточненный закон нарастания длины ветровых волн . . .	348
А. Г. Калашников. О намагничивании призм в открытой и замкнутой цепях . .	1231

IX. БИОФИЗИКА

Т. М. Кондратьева. Ранние цитологические изменения в костном мозгу животных при воздействии проникающего излучения . . .	89
Г. Н. Раутиан. Цветоразличение аномальных трихроматов . . .	92
А. А. Нейфах. Действие ионизирующей радиации на половые клетки вьюна (<i>Misgurnus fossilis</i>) . . .	585
Э. Я. Граевский и А. А. Нейфах. О роли гипофиза в поражении яйцеклеток амфибий при общем облучении ионизирующей радиацией . . .	1004
З. Н. Фалеева. Влияние рентгеновской	

IV

радиации на клеточный состав крови мышц при применении защитных агентов	1007
---	------

X. ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Ю. Н. Днестровский. Изменение собственных частот электромагнитных резонаторов	94
М. В. Приданцев, О. Н. Мещеринова и Ю. В. Пигузов. Изучение механизма влияния бора методом внутреннего трения	98
В. С. Комельков. Обратный разряд в длинных искрах	589
Г. В. Курдюмов и М. Д. Перкас. О закалке нелегированного безуглеродистого железа	818
Л. С. Стилбанс, Б. И. Бок и Э. Л. Лифшиц. О механизме рассеяния носителей в теллуристом свинце	1011
В. П. Фронтасев. О характере полимеры теплопроводности воды в области от 10 до 60°	1014
Б. Я. Пинес и Э. Ф. Чайковский. Рентгенографическое определение коэффициентов гетеродиффузии в сплавах, образующих твердые растворы замещения	1234
Ю. И. Уханов. Импульсный метод исследования фотоэлектрических свойств $p-n$ перехода в германии	1238

XI. ТЕПЛОТЕХНИКА

И. Т. Аладьев, Л. Д. Додонов и В. С. Удалов. Теплоотдача в трубах при кипении недогретой воды	593
---	-----

XII. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Г. Н. Поваров. К математической теории синтеза контактных (1, k)-полюсников	102
А. Ш. Блох. Синтез контактных (p, q)-полюсников	1017
С. В. Страхов. Уравнения переходных процессов синхронной машины, отнесенные к координатным осям, вращающимся с произвольной скоростью . .	1020

XIII. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Н. Ю. Икорникова и В. П. Бутузов. О гидротермальном синтезе кальцита . .	105
В. Л. Инденбом и М. А. Чернышева. Кольцо краевой дислокации в кристалле сегнетовой соли	596
М. Л. Шолохович, Е. Г. Фесенко, О. П. Крамаров и А. Л. Ходаков. Получение и свойства монокристаллов твердых растворов титанатов бария и свинца и монокристаллов титаната свинца .	1025

XIV. ХИМИЯ

Б. А. Арбузов, В. С. Виноградова и Н. А. Полежаева. О продукте действия диэтилфосфористого натрия на бромацетон	106
А. А. Гуреев и З. А. Саблина. Влияние строения соединений и класса шиффовых оснований на их свойства как деактиваторов металлов	110

А. Н. Несмеянов, Л. И. Захаркин и Р. Х. Фрейдлина. Конденсация γ , γ , γ -трихлоркотоновой, γ , γ -дихлоркотоновой и γ -бромкотоновой кислот с бензолом в присутствии хлористого алюминия	114	Е. М. Панов, В. И. Лодочникова и К. А. Кочешков. Новый метод синтеза свинцовоорганических соединений класса AgPbX_3	1042
И. М. Паушкин и Л. В. Осипова. Синтез ацетонитрила из пентана и аммиака	117	А. В. Топчиев, С. С. Нифонтова, Р. Я. Сушик и А. А. Сучкова. Нормальные парафиновые углеводороды, выделенные из керосина ромашкинской нефти	1045
А. В. Топчиев, Б. А. Кренцель, Н. Ф. Богомолова и Ю. Я. Гольдфарб. Полимеризация изобутилена в присутствии триэтилалюминия и четыреххлористого титана	121	Н. И. Шуйкин и И. Ф. Бельский. О раскрытии тетрагидрофуранового цикла под действием некоторых галоидных соединений	1048
Е. И. Елагина и Н. Х. Абрикосов. Исследование системы $\text{PbTe} - \text{PbSe}$	353	В. С. Абрамов и А. С. Капустина. Эфиры α -окси- β -хлор изопропилфосфиновой и 1,2-эпокси-2-пропилфосфиновой кислот	1243
З. М. Кравченко и И. С. Пастухова. Равновесие жидкость — кристаллы в системах с участием хризана	355	М. М. Азановская и В. И. Пансевич-Коляда. Действие гидроперекиси ацетила на алкилфуриловые спирты	1245
И. Н. Назаров и Н. В. Кузнецов. Синтез диенов с закрепленной трансoidной конфигурацией двойных связей. 3-метиленициклогексен	358	Ю. А. Арбузов и Б. Л. Дяткин. Диеновый синтез с хлорметилвинилкетон	1249
А. Н. Несмеянов, Н. А. Волькенау и В. Д. Вильчевская. Внутримолекулярное ацилирование в ряду ферроцена	362	Л. А. Игонин, Э. Г. Гинцберг, Н. А. Красулина и В. А. Каргин. К вопросу о кинетике отверждения фенольно-формальдегидных смол с помощью гексаметилентетрамина	1252
А. В. Топчиев и В. Н. Андронов. Полимеризация пропилена в присутствии ряда фосфорных кислот, содержащих фтор и фтористый бор	365	М. О. Коршун, Н. Э. Гельман и К. И. Глазова. Одновременное микропределение фтора, углерода и водорода в элементоорганических соединениях	1255
А. Гринберг и Е. А. Белоусов. К вопросу о реакциях обмена в комплексных соединениях иридия	599	В. А. Кропачев, Б. А. Долгопоск и К. В. Данилович. Изомеризация металлорганических соединений аллильного типа	1257
А. Лепинь и А. Тетере. О взаимодействии цинка (высокодисперсного) с водными растворами соляной кислоты	601	Н. С. Наметкин, А. В. Топчиев и Т. И. Чернышева. Синтез некоторых соединений кремния с циклоалкильными радикалами	1260
Н. Несмеянов и Н. А. Волькенау. Ацилирование ацетил- и этилферроцена	605	Г. А. Разуваев, Ю. А. Сорокин и Г. А. Домрачев. Фотореакции хроморганических соединений	1264
В. Сокольский и Р. З. Гумарова. Гидрирование хлопкового масла связанным водородом	609		
Д. Гельман и С. П. Дерендяев. О комплексных соединениях платины с диметил- и диэтилсульфидами	821		
Б. Голубцова и Л. А. Машкович. Исследование металлических соединений в никелевых сплавах, содержащих алюминий	824		
В. Домбровский. Хлорарилрование сопряженных диенов и новый способ синтеза α -арилбутадиенов	827		
К. Кочетков, Р. М. Хомутов и М. Я. Карпейский. Новый синтез циклосерина	831		
Н. Несмеянов, О. А. Реутов и А. С. Лосева. Синтез ртутноорганических соединений из гидразонов	835		
А. Петров и Ю. И. Порфирьева. О порядке присоединения брома к алкенил-ацетиленам	839		
С. Этлис и Г. А. Разуваев. Сульфирование дифенилметана	842		
Ф. Жигач, Е. Б. Казакова и Е. С. Кронгауз. В-триэтилборазол	1029		
И. Касаточкин и О. И. Зильбербранд. О химическом строении керогена сланцев	1031		
Л. Кнунянц и А. В. Фокин. Нитрование перфторолефинов двуокисью азота	1035		
Л. Либерман, О. В. Брагин и Б. А. Казанский. Каталитическая циклизация n -пропилбензола в индан	1039		

XV. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. Б. Казанский и В. В. Воеводский. О двух механизмах гидрирования и обмена при взаимодействии этилена с дейтерием на палладиевом катализаторе	125
А. В. Киселев, Ф. З. Сабилов, И. Л. Эттингер и М. Ф. Яновская. Адсорбция метана сажей и углем выше и ниже критической температуры	129
Ю. П. Никитин и О. А. Есин. Емкость двойного слоя при высоких температурах	133
И. Л. Розенфельд и Т. И. Лукокина. О новом катодном деполаризаторе	136
Л. М. Шамоцкий и Ю. Н. Жванко. Распределение активатора в щелочно-галоидных фосфорах	140
А. Ф. Алабышев и А. Г. Морачевский. Термодинамические свойства системы натрия — кадмий	369
И. Л. Ройх. Кинетика выделения H_2O_2 при атмосферной коррозии металлов в ранней стадии	372
В. Л. Тальрозе и Е. Л. Франкевич. Метод ионного удара и оценка сродства молекул к протону	376
А. А. Трапезников и Т. Г. Шалопалкина. Упругая деформация и ее релаксации в геле нафтената алюминия	380

- Г. А. Ягодин, О. В. Уваров и Н. М. Жаворонков. Коэффициенты разделения изотопов углерода при равновесии жидкость — пар для этилена, этана и метана 384
- Л. Ф. Яхонтова, Е. М. Савицкая и Б. П. Брунс. О скорости сорбции стрептомицина карбоксильными катионитами 388
- Б. В. Дерягин и С. С. Духин. Об осаждении частиц аэрозоля на поверхностях фазового перехода. Диффузионный метод пылеулавливания. Значение в медицине 613
- Е. А. Израилевич, Д. Н. Шигорин, И. В. Астафьев и А. И. Штенштейн. О спектрах поглощения карбанионов 617
- Т. А. Корецкая и В. Л. Карпов. Изучение формы и размера макромолекул электронно-микроскопическим методом 621
- О. В. Крылов, С. З. Рогинский и В. М. Фролов. Катализ на полупроводниках. Каталитические свойства металлического германия 623
- В. В. Лосев. Влияние индифферентного электролита на электродные процессы на амальгамах цинка и кадмия в присутствии поверхностно-активных веществ 626
- Б. Я. Любов и А. Л. Ройтбурд. Период нестационарности процесса зарождения центров новой фазы при изотермических фазовых превращениях в однокомпонентной системе 630
- Л. Г. Майдановская. Влияние водорода, адсорбированного на силикагеле и кварце, на адсорбцию электролитов 834
- К. И. Розенталь и В. И. Веселовский. Изучение механизма электрохимического выделения кислорода на платиновом электроде с помощью изотопа кислорода O^{18} 637
- С. С. Уразовский и П. А. Чернявский. Об особенностях в температурной зависимости вязкости переохлажденных жидкостей 640
- В. П. Батраков. Явление катодной пассивности металлов в сильно окислительных средах 845
- В. В. Варгин. Двуокись титана в стекле (состав — свойства титансодержащих стекол) 848
- Я. И. Коган и Р. С. Репина. Об одном эффекте движения частиц аэрозолей 851
- К. Д. Щербакова и К. И. Словецкая. О влиянии химического модифицирования поверхности силикагеля на его адсорбционные свойства 855
- Н. Я. Бунэ и Я. М. Колотыркин. Электрохимическое поведение нержавеющей стали в растворе серной кислоты 1050
- Б. В. Дерягин, С. К. Жеребков и А. М. Медведева. О механизме адгезии и автогезии каучуков 1267
- Л. И. Иванов и М. П. Матвеева. Об изменении парциальных значений термодинамических величин для железа в сплавах системы железо — хром в твердом состоянии 1271
- Н. П. Кейер. Исследование влияния взаимодействия между адсорбированными молекулами ацетилена на закисы никеля на закономерности адсорбции 1274
- П. А. Ребиндер, В. И. Лихтман и Л. А. Качанова. Адсорбционное понижение прочности металлических монокристаллов и самопроизвольное диспергирование в жидкой среде 1278
- Е. Руkenштейн и О. Смигельский. К вопросу о коэффициентах активности для бинарных смесей неэлектролитов 1282
- Н. М. Эмануэль. Стимулирование цепных разветвленных реакций воздействием проникающих излучений в начальный период развития процесса 1286

XVI. ГЕОХИМИЯ

- Е. Д. Зайцева. Обменный аммоний в осадках Тихого океана 144
- С. В. Бруевич. Вертикальное распределение биогенных элементов в грунтовых растворах Охотского моря 391
- И. Е. Старик и Э. В. Соболевич. Определение изотопного состава свинца в породах 391
- , Л. Я. Атрашенко и А. Я. Крылов. Определение урана в аксессуарных минералах 644
- И. А. Юркевич. Закономерности изменения восстановленности меловых отложений Восточного Приуралья 647
- К. Ф. Родионова, Л. Е. Штеренберг и Н. Г. Грибова. К характеристике люминесцентных свойств углей различных марок 1290

XVII. БИОХИМИЯ

- Г. К. Барашков. Об углеводах некоторых видов диатомовых водорослей 144
- М. А. Бокучава, В. Н. Букин, Н. Н. Ерофеева и В. Р. Попов. Р-витаминная активность различных типов чая 152
- З. С. Бровицкая. Ферментативное восстановление дифосфопиридинуклеотида (ДПН⁺) ментолом в листьях перечной мяты *Mentha piperita* 153
- И. Л. Каганова и В. Н. Орехович. О природе ферментов транспептидации 153
- Л. Г. Разина. Биосинтез карнозина мышечной тканью *in vitro* 161
- В. Е. Соколова и О. Н. Савельева. Особенности окислительных систем озимой и яровой пшеницы 161
- Г. А. Критский и Г. Л. Мягкая. Обмен глицина и синтез пуринов в печени голубя 391
- В. Н. Орехович и В. О. Шпикитер. Молекулярные веса пепсиногена и пепсина 401
- И. И. Иванов, В. А. Юрьев, В. В. Кадыков, Б. М. Крымская, В. П. Моисеева и С. Е. Тукачинский. Белки проактомиозинового комплекса в онтогенезе 641
- Б. Н. Степаненко, О. Н. Пономарева, Е. М. Афанасьева и Р. А. Баксова. Об эремуране — новом полисахариде из корней *Eremurus Regelii* 651
- А. Н. Петрова. Новые данные о биосинтезе гликогена в печени 1031

Е. Л. Розенфельд и И. С. Лукомская. О возможности существования в печени полисахарида, отличного от гликогена	1058	жений ордовика и силура на полуострове Челюскина	432
Б. И. Хайкина. Содержание и обменность отдельных фракций гликогена в ткани головного мозга	1061	Г. И. Теодорович, Л. П. Гроздилова и Н. С. Лебедева. Подразделение Башкирского яруса Горной Башкирии по фауне фораминифер	434
А. Г. Пасынский и В. П. Блохина. Окисление аскорбиновой кислоты в проточных условиях	1293	А. П. Блудоров и Л. С. Тузова. Углеродные отложения нижнего карбона Татари	663
А. С. Спирин, А. Н. Белозерский и А. Претель-Мартинес. Сравнительное изучение состава нуклеиновых кислот у культур кишечной палочки различных возрастов	1297	Е. В. Владимирская, Б. В. Тимофеев и Н. Г. Чочиа. Новые данные о возрасте «древних свит» Западного склона Урала	687
Д. Т. Цонев. К вопросу об аминокислотном составе некоторых разновидностей капусты	1300	В. С. Дмитриевский. Основные этапы минералообразования грейзенового процесса	670

XVIII. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Н. Ф. Разина, М. Т. Козловский и В. В. Стендер. О разрушении свинцовых анодов при электролизе сернокислых растворов	404	П. М. Сухаревич. Новые данные по стратиграфии юрских отложений юго-западной части Причерноморской впадины	681
Н. В. Михайлов, В. И. Майборода и В. А. Каргин. Новый метод производства вискозного волокна	656	А. З. Широков и Д. Ф. Алымов. Валунно-галечные отложения южного борта Днепровско-Донецкой впадины	685
Н. Н. Серб-Сербина, Ю. А. Саввина и В. С. Журина. Образование гидрохлоралюминатов каледия и влияние их на структуру цементного камня	659	Я. Я. Яржемский. Ассоциация гидроборацита с ашаритом в соленосной толще Индерского поднятия	687

XIX. ГЕОЛОГИЯ

С. В. Николаев. Распределение доломита в известково-доломитовых породах Самарской луки	169	Г. И. Керимов. К петрологии и металлогении Кедабек-Шамхор-Дашкесанской группы интрузивов Азербайджана (Малый Кавказ)	859
И. Н. Томсон. К вопросу о цикличности в развитии посленижнемелового магматизма в Восточном Приморье	171	Н. С. Чумаков. К стратиграфии северной окраины Патомского нагорья	863
В. И. Тузикова. Кайнотипные эффузивы и пирокластические породы Буланаш-Елкинского бассейна	175	А. Н. Шарданов и В. Е. Ханн. Новые данные о распространении и возрасте вулканогенных толщ Юго-Восточного Кавказа	866
Р. А. Биджиев. Новые данные о тектоническом строении Приверхоянского краевого прогиба	407	И. А. Юркевич. К вопросу о палеогеографии приуральской части Западно-Сибирской низменности в мезозое	870
В. С. Васильев, М. Ф. Колбин и В. Н. Краснова. Цеолиты в мезозойских и кайнозойских отложениях Пензенской области	410	Т. В. Астахова. К вопросу о стратиграфическом положении слоев с Doriganites	1065
Г. С. Голдырев. О присутствии калийных соединений в соленосной толще Усолья-Сибирского	413	А. Б. Вистелиус. Схема районирования современных отложений Восточного Кавказа и Северного Прикаспия по их минералогическому составу	1068
С. М. Катченков. О распределении второстепенных элементов в карбонатных породах палеозоя Волго-Уральской области	415	Б. А. Корженевский. О некоторых геоморфологических чертах хребта Каратау на Мангышлаке	1072
И. А. Конохов. О литологических особенностях среднеюрских отложений Дагестана	418	А. И. Осипова. О стратиграфическом значении фауны капланбекского комплекса палеогена Средней Азии.	1076
Г. У. Линдберг. К четвертичной истории дальневосточных морей	422	Л. Я. Проводников. О преимуществе геокартирования по геофизическим графикам и возможных ошибках в геологических выводах по картам изоаномал	1080
Н. А. Лисицына. Некоторые особенности накопления континентальных бокситов Казахстана	425	П. П. Тимофеев. Генетическая классификация гумусовых углей среднего карбона Донбасса	1083
В. С. Мелик-Пашаев. Параллелизация свит нижнего отдела продуктивной толщи Апшеронского архипелага и красноцветной толщи Западной Туркмении	428	В. К. Голубцов. К вопросу о нижней границе в объеме тульского горизонта	
Л. Д. Мирошников. Об открытии отло-			

нижнего карбона в Припятьском прогибе	1305
Г. А. Дмитриев. О симметрии кливажа в каменных углях Инты	1308
А. Д. Каленов. О допегматитовых грейзенах	1311
Н. Н. Карлов. Новые данные о вулканическом пепле г. Днепропетровска в связи с вопросом о генезисе лесса	1314
И. А. Конюхов и Г. Н. Комардинкина. К вопросу о региональной литологии верхнеюрских карбонатных отложений северо-восточного Кавказа	1318

XX. ГИДРОГЕОЛОГИЯ

П. П. Воронков. Гидрохимические обоснования строительства прудов в зоне недостаточного увлажнения	178
— Гидромеханическая характеристика основных генетических категорий поверхностных вод	438
Б. И. Куделин. Опыт региональной оценки естественных ресурсов артезианских вод	442
Г. А. Гонсовская. Жировские термы Южной Камчатки	874
В. Н. Коршенштейн. Некоторые вопросы формирования подземных вод майкопских горизонтов Центрального и Северо-Западного Предкавказья	1322
Н. Д. Старикова. Накопление и распределение осадков в некоторых водохранилищах канала им. Москвы	1326

XXI. МИНЕРАЛОГИЯ

А. Ф. Коржинский. О зависимости термических свойств амфиболов от содержания в них щелочей	445
Я. Я. Яржемский. Преображенскит — новый брат соленосной толщи Индерского поднятия	1087

XXII. ПЕТРОГРАФИЯ

И. В. Белов. Лимбургиты Хилокской впадины (Селенгинская Даурия)	690
Э. Н. Янов. К вопросу о происхождении красноцветных и сероцветных окрасок осадочных пород	1330

XXIII. ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Р. Х. Айдинян. Формы поглощенных почвенными коллоидами фосфатов и доступность их для чайного куста	182
--	-----

XXIV. ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

А. Г. Вологдин. Стратиграфическое значение археоциат	185
Б. В. Навликин. Псевдопланктонные пеллециподы доманика	188
И. Т. Журавлева и П. Д. Резвой. К систематике ископаемых губок и археоциат	449
Т. Д. Колесникова. К флоре буроугольных отложений Башкирии	695
А. Г. Вологдин. К классификации типа <i>Archaeoscyatha</i>	877
И. А. Ефремов. Американские элементы в фауне пермских пресмыкающихся СССР	1091
А. И. Нецкая и В. А. Иванова. Первая находка остракод в нижнем кембрии Восточной Сибири	1095

VIII

Е. А. Рейтлингер. Микроскопические органические (Р) остатки сердобской серии	1098
Н. П. Суворова. Род <i>Leptomontovia</i> в нижнем кембрии Сибири и Средней Азии (трилобиты)	1101
Д. М. Раузер-Черноусова. О невозможности признания <i>Borelis princeps</i> Ehrenberg, 1854 типичным видом рода <i>Schwagerina</i> Moeller, 1877	1333
М. Н. Чугаева. Новые роды трилобитов из среднего и верхнего ордовика Южного Казахстана	1336

XXV. ЦИТОЛОГИЯ

П. А. Мотавкин и С. Н. Смирнова. Цитохимия восстановленного глутатиона в элементах нервной системы	452
В. Я. Бродский. Количество рибонуклеиновой кислоты в нервных клетках различных размеров	1340
И. И. Кикнадзе. Динамика дезоксирибонуклеиновой кислоты в ходе развития яиц беспозвоночных	1340

XXVI. ГИСТОЛОГИЯ

И. А. Алов. О возникновении митозов при регенерации печени	190
С. И. Тысячник. Трофические язвы брюшной стенки нейрогенного происхождения	456
Е. Б. Соколова. О рецепторах легочных альвеол	699
Л. Д. Марцинкевич. Развитие и возрастные изменения эластической стромы кожи млекопитающих	1105
Г. Г. Тиняков. К вопросу о развитии волоса у сельскохозяйственных животных	1109
Л. Б. Берлин. Об изменениях поперечнополосатых мышечных волокон кожи под воздействием питания на ней клещей <i>Hyalomma asiaticum</i> P. Sch. et E. Schl. (сем. Ixodidae)	1348

XXVII. ЭКОЛОГИЯ

Ю. П. Зайцев. TS-диаграммы встречаемости пелагической икры некоторых черноморских рыб	193
Е. А. Коряков. Некоторые экологические приспособления в размножении голомянок (<i>Pisces</i> , <i>Comenphoridae</i>)	1111
Т. В. Михальченко. Теплоустойчивость мерцательного эпителия и ее изменение у травяной лягушки (<i>Rana temporaria</i> L.)	1352

XXVIII. ГИДРОБИОЛОГИЯ

Н. Г. Виноградова. Зоогеографическое районирование абиссали Мирового океана	195
А. К. Гейрих. О продукции копепод в Беринговом море	199
Е. А. Фесенко и М. С. Шейнин. Колебательные колебания зоопланктона нижнего течения Дона и восточной части Таганрогского залива	202
Н. Г. Виноградова. К зоогеографии	

глубин фауны Индийского океана	459
А. А. Добржанская. Сезонные и суточные колебания в содержании растворенного органического вещества в Черном море	462
П. Луферов. Некоторые данные о хищном питании личинок Tenebrionidae	466
А. Е. Крисс. Численность микробного населения и биомасса на различных глубинах морей и океанов	1356

XXIX. МИКРОБИОЛОГИЯ

П. Шейнкер и И. Е. Эльпинер. Иммунизирующие свойства патогенных бактерий, подвергшихся действию ультразвуковых волн (палочка коклюша)	470
И. И. Ерохина и С. И. Алиханян. Влияние эффекта фотореактивации на мутационный процесс у продуцентов стрептомицина <i>Str. griseus</i> (Act. globisporus streptomycini)	703
М. Майборода. Нитевидные образования в препаратах дизентерийных фагов	706
И. Любимов. Синтез углеводов бактериями <i>Micrococcus ureae</i> из искусственной кислоты	881
З. Миндлин и С. И. Алиханян. Биохимические мутанты <i>Actinomyces rimosus</i> (продуцента, тетрамина)	884
М. Шавловский и В. С. Чистякова. О влиянии железа на биосинтез рибофлавина (витамина B ₂) дрожжами <i>Candida guilliermondii</i>	887
Н. А. Кошелева и В. Э. Хржановская. Образование протеолитических ферментов в глубинных культурах актиномицетов	890
И. Гольдин и В. Л. Федотина. Исследование вируса мозаики табака методом ультратонких срезов	1115
А. Красильников, А. Н. Белозерский, Я. И. Раутенштейн, А. И. Кореняко, Н. И. Никитина, А. И. Соколова и С. О. Урысон. Антибиотик гризин (гриземин) и его продуценты	1117
К. Саев и К. Ив. Марков. Пенциллин и тиамин как факторы роста стафилококков	1121
В. Косиков, Н. С. Гельман и О. Г. Раевская. Расщепление сахарозы мальтазой в дрожжевых клетках	1359
Ив. Марков и Г. К. Саев. Изменение электрокинетического потенциала стафилококков при их адаптации к пенициллину	1361

XXX. МОРФОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. Полухина. Оморфологических различиях эпидластов ржи и пшеницы	473
--	-----

XXXI. АНАТОМИЯ РАСТЕНИЙ

И. Вигоров. Образование алейроновых зерен в зерновках пшеницы	1363
---	------

XXXII. ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Е. А. Дороганевская. О связи активности каталазы у подыны с экологическими условиями	1123
— О стойкости каталазы растений к повышению температуры	1367

XXXIII. ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

И. В. Гулякин и Е. В. Юдинцева. Поступление в растения радиактивных изотопов стронция, цезия, рутения, циркония и церия	206
А. В. Петербургский. Об усвоении растениями обменно-поглощенных средой анионов	209
И. Д. Шматок. Влияние продолжительности дня в полярных условиях на содержание углеводов и минеральных веществ у желтой акации и обыкновенной сирени	213
И. В. Гулякин и Е. В. Юдинцева. К вопросу о действии радиоактивных изотопов на растения	475
И. Д. Иванов и М. Т. Йорданова. Ксантогенаты как стимуляторы роста некоторых сельскохозяйственных культур	478
И. Я. Марьяхина. Особенности биологии цветения кастрированных цветков пшеницы	480
М. Х. Чайлахян и Т. В. Некрасова. Влияние витаминов на преодоление полярности у черенков лимона	482
И. А. Чернавина и Б. А. Рубин. Влияние условий предварительного освещения на устойчивость хлорофилла к разрушению в темноте	486
И. В. Гулякин и Е. В. Юдинцева. Поступление радиоактивных изотопов в растения через листья	709
А. Ф. Флеров и В. А. Флеров. О возмещении удаленного основного побега семенодольными пазушными побегами	713
М. Х. Чайлахян. Влияние витаминов на рост и развитие растений	894
Ю. И. Власов. Устойчивость томата к стрикку в зависимости от экологических условий	1127
Е. Я. Ермолаева. Влияние высоких доз фосфора на повышение холодостойкости томатов	1130
И. В. Мосолов, А. Н. Лапшина и А. В. Панонова. К вопросу о внекорневом питании растений	1334
Е. М. Полтарев. О стадии, яровизации у межвидовых гибридов пшеницы	1138
М. Г. Николаева. К вопросу о роли органических кислот в прорастании покоящихся семян	1371
С. И. Пашкар. Возрастные изменения содержания фенольных соединений и распределение их по органам растения картофеля	1375

XXXIV. ЗООЛОГИЯ

А. С. Бараненкова, Н. С. Хохлина и И. Г. Юданов. Распределение личинок морского окуня рода <i>Sebastes</i> в Норвежском море	489
--	-----

Л. И. Федосеева. Новые виды семеедов <i>Bruchophagus Ashm</i> (Hymenoptera, Chalcidoidea), развивающихся на бобовых растениях	491
Б. М. Медников и В. Г. Прохоров. Новый вид <i>Cyclopteropsis</i> (Pisces, Cyclopterinae) в Беринговом море	717
В. И. Анпилова. О систематическом положении баунтовской ряпушки	898
П. В. Матеекин. Систематическое положение <i>Succinea chinensis</i> Pf. (Gastropoda, Pulmonata, Stylommatophora)	901
О. П. Богданов. О нахождении на территории СССР заднебороздчатой зериго-змеи <i>Psammophis schokari</i> Forskal.	1142
П. В. Матеекин. Новые данные об ареале <i>Succinea elegans</i> Risso (Gastropoda, Pulmonata, Stylommatophora)	1144

XXXV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ

Г. П. Тихонова. Регенерация роговицы и ее нервных элементов у крыс при экспериментально вызванной механической травме	217
И. Р. Коркия. Стимуляция регенерации кожно-мышечной стенки дождевого червя действием тканевого экстракта	494
А. Я. Фриденштейн. Полисахариды переходного эпителия при экспериментальном эктопическом остеогенезе	497
А. А. Костомарова. Развитие секреторного и всасывающего аппарата кишечника цыпленка в период инкубации	720
А. Р. Стриганова. Эффективность воздействия травмы при восстановлении атрофированных мышц у крыс	903

XXXVI. ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОРФОЛОГИЯ

Е. И. Данилова. Некоторые особенности эволюции пясти и мышц кисти человека в сравнительно-анатомическом освещении	907
---	-----

XXXVII. ФИЗИОЛОГИЯ

В. С. Кирпичников, А. П. Световидов и А. С. Трошин. Мечение карпа радиоактивными изотопами фосфора и кальция	221
Б. И. Пакович. О невозможности образования оборонительно-двигательных условных рефлексов при строгом совпадении во времени действия индифферентного и безусловного раздражителей	225
Н. М. Петрунь. К вопросу о дыхании человека через кожу. Влияние температуры и физической работы на поглощение кислорода через кожу человека	228
З. Г. Трофимова. Венечное кровообращение у собак при действии веществ, изменяющих уровень артериального давления	23

Ю. К. Богдаевский. Влияние физиологического состояния, пола и режима питания птиц на картину их белой крови	50
Н. Н. Блохин, И. С. Луганова и Л. С. Ротфельд. Углеводная функция печени при развитии лучевой болезни	72
В. А. Евсеев. Изменение высшей нервной деятельности при повторных введениях антигена с целью иммунизации	72
Н. В. Сыромятникова. Некоторые стороны белковой функции печени при развитии лучевой болезни	73
А. Н. Алиев. Рефлекторные механизмы в процессах суммации эффекта от введения в организм подпороговых доз токсина септического вибриона	91
Т. П. Дмитриева и М. Р. Могенович. О химической раздражимости проприоцепторов и реакции сердечно-сосудистой системы	91
А. Н. Алиев. К физиологическому анализу механизмов интоксикации организма при анаэробной инфекции (на модели интоксикации белых крыс токсином <i>Vibrio septique</i>)	114
З. И. Бирюкова. Об условных дыхательных рефлексах человека	137
А. Г. Гинецкий и В. Ф. Васильева. Эfferентная иннервация канальцев почки	138
О. Г. Карандеева и М. А. Абрикосова. Потребление кислорода морскими беспозвоночными в некоторых условиях	138
Е. А. Сквирская. О роли добавочных раздражений в развитии гистопатологических изменений у животных, зараженных анаэробной инфекцией	138
Т. Н. Соллертинская. Изменения условно-рефлекторной деятельности у кроликов после экстирпации верхних шейных симпатических узлов	139

XXXVIII. ЭМБРИОЛОГИЯ

А. С. Гинзбург. Жировые вещества в овоцитах и яйце севрюги	23
Т. А. Детлаф. Видовые различия в формообразовательных свойствах зародышевого материала и смещение гастрюляции относительно стадий дробления (значение соотношения стадий развития и клеточных поколений)	114
Г. А. Шмидт. Рост и дифференцировка зародышевого диска у коровы (<i>Bos taurus</i>)	113
Г. В. Орловская, А. Л. Зайдес и А. А. Тустановский. Образование коллагена в эмбриогенезе	13
И. А. Садов. Образование микропиле у овоцитов осетровых рыб	14

XXXIX. ЭНДОКРИНОЛОГИЯ

Я. Д. Киршенблат. Действие очищенных гормонов гипофиза на яичники рыб	50
---	----

XL. ПАРАЗИТОЛОГИЯ

Б. Л. Гаркави. Способность личинок ленточного гельминта <i>Hymenolepis fraterna</i> (Stiles, 1906) развиваться в мезентериальных лимфатических узлах	240	А. М. Кривко. Естественное раздвоение весеннего поколения овечьего овода (<i>Oestrus ovis</i> L.) в Алма-Атинской области	248
О. В. Головин. Биология нематоды <i>Gnathostoma hispidum</i>	242	Т. П. Чижова. К вопросу о взаимосвязи ленточков, паразитирующих у млекопитающих и птиц	250
Е. М. Карманова. Расшифровка биологического цикла нематоды <i>Hystrichis tricolor</i> Dujardin, 1845—паразита домашних и диких уток	245	Е. Д. Логачев. О взаимоотношениях между ядром и цитоплазмой в растущих яйцевых клетках у плоских червей	507
		Е. Н. Павловский и А. Н. Скрынник. К биологии клещей <i>Ornithodoros papillipes</i>	1403

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ *

Абрамов В. С. XIV, 1243	Березняк Н. Г. VII, 322, 568	Виноградова В. С. XIV, 107
Абрикосова М. А. XXXVII, 1385	Берлин Л. Б. XXVI, 1348	Виноградова Н. Г. XXVIII, 195, 459
Абрикосов Н. Х. XIV, 353	Берштейн И. I, 924	Вистелиус А. Б. XIX, 1068
Азановская М. М. XIV, 1245	Бехтерева М. Н. XXIX, 890	Вишик М. И. I, 12, 273, 521
Азбелев Н. В. I, 515	Биджиев Р. А. XIX, 407	Владимирская Е. В. XIX, 667
Айдинян Р. Х. XXIII, 182	Бирюкова З. И. XXXVII, 1378	Власов Ю. И. XXXIII, 1127
Айзенштат Н. Д. I, 941	Бланк В. З. VII, 1201	Воеводский В. В. XV, 125
Алабышев А. Ф. XV, 369	Блох А. Ш. XII, 1017	Вологдин А. Г. XXIV, 185, 877
Аладьев И. Т. XI, 593	Блохин Н. Н. XXXVII, 723	Волькенау Н. А. XIV, 362, 605
Алиханян С. И. XXIX, 703, 884	Блохина В. П. XVII, 1293	Воронков П. П. XX, 178, 438
Алиев А. Н. XXXVII, 911, 1147	Блудоров А. П. XIX, 663	Вялов С. С. II, 1193
Алов И. А. XXVI, 190	Блюменфельд В. Н. I, 739	Гавриловский Б. В. VII, 59
Алымов Д. Ф. XIX, 685	Богданов О. П. XXXIV, 1142	Гаркави Б. Л. XL, 240
Альбицкая Е. А. VII, 1219	Богомолова Н. Ф. XIV, 121	Гейнрих А. К. XXVIII, 199
Андрюшкин Э. И. III, 554	Богоявленский Ю. XXXVII, 501	Гельман А. Д. XIV, 821
Андронов В. Н. XIV, 365	Бок Б. И. X, 1011	Гельман Н. С. XXIX, 1359
Анпилова В. И. XXXIV, 898	Бокучава М. А. XVII, 152	Гельман Н. Э. XIV, 1255
Антонова М. Г. VII, 341	Брагин О. В. XIV, 1039	Гельфанд И. М. I, 745
Арабаджи В. И. VIII, 85	Бредихина Е. А. I, 1163	Гендлер М. Г. I, 524
Арбузов Б. А. XIV, 107	Бродский А. VII, 787	Гиневинский А. Г. XXXVII, 1382
Арбузов Ю. А. XIV, 1249	Бродский В. Я. XXV, 1340	Гинзбург А. С. XXXVIII, 236
Артоблевский И. И. II, 550	Бродский М. С. I, 926	Гинцберг Э. Г. XIV, 1252
Астафьев И. В. XV, 617	Броновицкая З. С. XVII, 155	Глазова К. И. XIV, 1255
Астахова Т. В. XIX, 1065	Бруевич С. В. XVI, 391	Глауберман А. Е. VII, 63
Атрашенко Л. Я. XVI, 644	Брунс Б. П. XV, 388	Говорков Б. В. VII, 988
Афанасьева Е. М. XVII, 652	Букин В. Н. XVII, 152	Голдырев Г. С. XIX, 413
Баксова Р. А. XVII, 652	Бунэ Н. Я. XV, 1050	Головин И. Н. VII, 319
Бараненкова А. С. XXXIV, 489	Бутелов М. М. VII, 996	Головин О. В. XL, 242
Барановский В. И. VII, 806	Бутузов В. П. XIII, 105	Головина В. Я. VII, 59
Барашков Г. К. XVII, 148	Быков Я. В. I, 265	Голубцов В. К. XIX, 1305
Барбашиш Е. А. I, 9	Вавилов Ю. Н. VII, 71	Голубцова Р. Б. XIV, 824
Батов В. В. VII, 71	Вайнштейн И. А. I, 941	Гольдманский В. И. VII, 988
Батраков В. П. XV, 845	Варгин В. В. XV, 848	Гольдин М. И. XXIX, 1115
Безбатченко А. Л. VII, 319	Вартанян А. Т. VII, 561	Гольдина Н. П. I, 528
Беклемишева Л. А. I, 261	Васильев В. С. XIX, 410	Гольдфарб Ю. Я. XIV, 121
Белов И. В. XXII, 690	Васильева В. Ф. XXXVII, 1382	Гонсарская Г. А. XX, 874
Белов К. П. VII, 985	Введенская Н. Д. I, 517	Гончар А. А. I, 930
Белозерский А. Н. XVII, 1297; XXIX, 1117	Вентцель А. Д. I, 269	Горжевская Э. Г. VII, 1205
Белуосов Е. А. XIV, 599	Веселовский В. И. XV, 637	Горлов Г. В. VII, 791
Бельский И. Ф. XIV, 1048	Вигоров Л. И. XXXI, 1363	Гостева М. И. VII, 811
	Виленкин Н. Я. I, 742	
	Вильчевская В. Д. XIV, 362	

* Первое число после фамилии и инициалов автора обозначает номер раздела по систематическому указателю, второе — страницу.

Гохберг Г. В. VII, 791
Граевский Э. Я. IX, 1004
Грибкова Н. Г. XVI, 1290
Гринберг А. А. XIV, 599
Гроздовский Г. Л. III, 969
Гроздилова Л. П. XIX, 434
Гросс Е. Ф. VII, 564
Гулякин И. В. XXXIII, 206, 475, 709
Гумарова Р. З. XIV, 609
Гуреев А. А. XIV, 110
Данилова Е. И. XXXVI, 907
Данилович К. В. XIV, 1257
Дерендяев С. П. XIV, 821
Дерюгин Л. Н. VII, 1209
Дерягин Б. В. 613, 1267
Детлаф Т. А. XXXVIII, 1149
Джрбашян М. М. I, 749
Дмитриев Г. А. XIX, 1308
Дмитриева Т. П. XXXVII, 914
Дмитриевский В. С. XIX, 670
Днестровский Ю. Н. X, 94
Добжанская М. А. XXVIII, 462
Добрышман Е. М. VI, 55
Додонов Л. Д. XI, 593
Долгопосок Б. А. XIV, 1257
Добровский А. В. XIV, 827
Домбровский Г. А. III, 312
Домрачев Г. А. XIV, 1264
Дороганевская Е. А. XXXII, 1123, 1367
Дулькова Л. С. VII, 992
Дунина А. А. VII, 811
Духин С. С. XV, 613
Дюбюк А. Ф. VI, 55
Дяткин Б. Л. XIV, 1249
Евсеев В. А. XXXVII, 727
Егоров И. П. I, 276
Елагина Е. И. XIV, 353
Ельяшевич М. А. VII, 325
Ермолаева Е. Я. XXXII, 1130
Ерофеева Н. Н. XVII, 152
Ерохина Л. И. XXIX, 703
Есельсон Б. Н. VII, 322, 568
Есин О. А. XV, 133
Ефремов И. А. XXIV, 1091
Жаворонков Н. М. XV, 384
Жванко Ю. Н. XV, 140
Жеребков С. К. XV, 1267
Жигач А. Ф. XIV, 1029
Журавлева И. Т. XXIV, 449
Журина В. С. XVIII, 659
Завойский Е. К. VII, 328, 996
Зайдес А. Л. XXXVIII, 1396
Зайцев Ю. П. XXVII, 193
Зайцева Е. Д. XVI, 144
Захаркин Л. И. XIV, 114
Захарченя Б. П. VII, 564
Зильбербранд О. И. XIV, 1031
Зубцов Е. И. XIX, 673
Иваненко Д. Д. VII, 334
Иванов В. В. I, 933
Иванов Д. П. VII, 319
Иванов И. Д. XXXIII, 478
Иванов И. И. XVII, 649
Иванов Л. И. XV, 1271
Иванов Ю. М. II, 777

Иванова В. А. XXIV, 1095
Игонин Л. А. XIV, 1252
Израилевич Е. А. XV, 617
Икорникова Н. Ю. XIII, 105
Инденбом В. Л. XIII, 596
Йорданов И. Т. XXXIII, 478
Каганов М. И. VII, 568
Каганова И. Л. XVII, 158
Кадыков В. В. XVII, 649
Казакова К. Б. XIV, 1029
Казанский Б. А. XIV, 1039
Казанский Б. В. XV, 125
Калашников А. Г. VIII, 1231
Каленов А. Д. XIX, 1311
Капустина А. С. XIV, 1243
Караджев К. В. VII, 59
Карандеева О. Г. XXXVII, 1385
Каргин В. А. XVIII, 656; XIV, 1252
Карлов Н. Н. XIX, 1314
Карманова Е. М. XL, 245
Карпейский М. Я. XIV, 831
Карпман В. И. VII, 1212
Карпов В. Л. XV, 621
Карпович И. А. VII, 561
Карпухин О. А. VII, 988
Карпушкина Э. И. VII, 1219
Касаточкин В. И. XIV, 1031
Катченков С. М. XIX, 415
Кашеев Н. А. I, 937
Кейер Н. П. XV, 1274
Керимов Г. И. XIX, 859
Кикнадзе И. И. XXV, 1344
Кириллов В. Д. VII, 319
Кирпичников В. С. XXXVII, 221
Киселев А. В. XV, 129
Кишенблат Я. Д. XXXIX, 504
Климов Н. И. I, 16
Климова Л. А. VII, 1227
Ключарев А. П. VII, 59
Клуняц И. Л. XIV, 1035
Коган Я. И. XV, 851
Козловский М. Т. XVIII, 404
Колбин М. Ф. XIX, 410
Колесникова Т. Д. XXIV, 695
Колмогоров А. Н. I, 745
Колотыркин Я. М. XV, 1050
Колтыпин Е. А. VII, 331
Комардинкина Г. Н. XIX, 1318
Комельков В. С. X, 589; VII, 1215
Кондратьева Т. М. IX, 89
Конюхов И. А. XIX, 418, 1318
Коренблюм Б. И. I, 280
Кореняко А. И. XXIX, 1117
Корецкая Т. А. XV, 621
Корженевский Б. А. XIX, 1072
Коржинский А. Ф. XXI, 445
Коркиа И. Р. XXX, 494
Коробейников В. П. III, 557
Корценштейн В. Н. XX, 1322
Коршун М. О. XIV, 1255
Коряков Е. А. XXVII, 1111
Косиков К. В. XXIX, 1359

Костомарова А. А. XXXV, 720
Кочанова Л. А. XV, 1278
Кочетков Н. К. XIV, 831
Кочешков К. А. XIV, 1042
Кошелева Н. А. XXIX, 890
Кравченко В. М. XIV, 355
Крамаров О. П. XIII, 1025
Красильников Н. А. XXIX, 1117
Краснова В. Н. XIX, 410
Красносельский М. А. I, 19, 283
Красулина Н. А. XIV, 1252
Крейн М. Г. I, 1167
Крейн С. Г. I, 19
Крейнес М. А. I, 941
Кренцель Б. А. XIV, 121
Кривко А. М. XL, 248
Крисс А. Е. XXXVIII, 1356
Критский Г. А. XVII, 398
Кронгауз Е. С. XIV, 1029
Кропачев В. А. XIV, 1257
Крылов А. Я. XVI, 644
Крылов О. В. XV, 623
Крымская Б. М. XVII, 649
Куделин Б. И. XX, 442
Кудрин Л. П. VII, 795
Кузнецов Н. В. XIV, 358
Куни Ф. М. VII, 571
Курдюмов Г. В. X, 818
Куценко А. В. VII, 988
Лаврук Б. Р. I, 23, 287
Ладыженская О. А. I, 291
Лапшина А. Н. XXXIII, 1134
Лебедева Н. С. XIX, 434
Лепинь Л. XIV, 601
Либерман А. Л. XIV, 1039
Лившиц М. С. VII, 67, 799
Линдберг Г. У. XIX, 422
Лисида М. П. VII, 803
Лисицына Н. А. XIX, 425
Лифшиц Э. Л. X, 1011
Лихтман В. И. XV, 1278
Логачев Е. Д. XL, 507
Лодочникова В. И. XIV, 1042
Лосев В. В. XV, 626
Лосева А. С. XIV, 835
Луганова И. С. XXXVII, 723
Лукомская И. С. XVII, 1058
Лукомина Т. И. XV, 136
Лупанов О. Б. I, 1171
Луганов В. П. XXXVIII, 466
Любимов В. И. XXIX, 881
Любов Б. Я. XV, 630
Люстерник Л. А. I, 12, 273
Ляченко Н. Я. I, 295
Майборода В. И. XVIII, 656
Майборода Г. М. XXIX, 706
Майдановская Л. Г. XV, 634
Манько В. И. VII, 59
Марков К. Ив. XXIX, 1121, 1361
Марцинкевич Л. Д. XXVI, 1105
Марьяхина И. Я. XXXIII, 480
Маслов В. П. I, 531; VI, 977

- атвеева М. П. XV, 1271
 атекин П. В. XXXIV, 901, 1144
 ашкевич В. С. VII, 575
 ашкович Л. А. XIV, 824
 едведева А. М. XV, 1267
 едников Б. М. XXXIV, 717
 елик-Пашаев В. С. XIX, 428
 ешерина О. Н. X, 98
 индлин С. З. XXIX, 884
 инц Р. М. I, 535
 ирошников Л. Д. XIX, 432, 676
 ихайлов Н. В. XVIII, 656
 ихальченко Т. В. XXVII, 1352
 иогендович М. Р. XXXVII, 914
 ионсеева В. П. XVII, 649
 иорачевский А. Г. XV, 369
 иорозов В. М. VII, 331, 791
 иосолов И. В. XXXIII, 1134
 иотавкин П. А. XXV, 452
 иохнач Д. О. V, 50
 иурин А. Н. VII, 806
 иякая Г. Л. XVII, 398
 иазаров И. Н. XIV, 358
 иаливкин Б. В. XXIV, 188
 иаметкин Н. С. XIV, 1260
 иейфах А. А. IX, 585, 1004
 иекрасова Т. В. XXXIII, 482
 иесмеянов А. Н. XIV, 114, 362, 605, 835
 иефедов В. Д. VII, 806
 иейкая А. И. XXIV, 1095
 иикитин Ю. П. XV, 133
 иикитина Н. И. XXIX, 1117
 иикитина О. Н. VII, 325
 иикитюк Л. А. XIX, 678
 ииколаев С. В. XIX, 169
 ииколаева М. Г. XXXIII, 1371
 иикольский Б. А. VII, 795
 иикольский С. И. VII, 71
 иикольский С. М. I, 26
 иифонтова С. С. XIV, 1045
 иоздрев В. Ф. VII, 808
 овсянников Л. В. III, 47
 орехович В. Н. XVII, 158, 401
 орлов С. А. I, 538, 1175
 орловская Г. В. XXXVIII, 1396
 осипова А. И. XIX, 1076
 осипова Л. В. XIV, 117
 отрошенко Г. А. VII, 791
 ошерович А. Л. V, 316
 авловская В. В. VII, 988
 авловский Е. Н. XL, 1403
 акович Б. И. XXXVII, 225
 анина И. К. VII, 985
 анов Е. М. XIV, 1042
 анова А. В. XXXIII, 1134
 анова Н. М. VII, 1205
 ансевич-Коляда В. И. XIV, 1245
 арфенов Д. С. VII, 1215
 астухова И. С. XIV, 355
 асыннский А. Г. XVII, 1293
 аушкин Я. М. XIV, 117
 ашкарь С. И. XXXIII, 1375
 Перкас М. Д. X, 818
 Петербургский А. В. XXXIII, 209
 Петров А. А. XIV, 839
 Петрова А. Н. XVII, 1054
 Петрунь Н. М. XXXVII, 228
 Пигузов Ю. В. X, 98
 Пинес Б. Я. X, 1234
 Пинскер М. С. I, 753
 Плисс В. А. I, 1178
 Поваров Г. Н. XII, 102
 Погодичева Н. А. I, 542
 Погорелов А. В. I, 757, 945
 Полежаева Н. А. XIV, 107
 Полтарев Е. М. XXXIII, 1138
 Полухина И. Н. XXX, 473
 Полюнский Н. И. I, 1181
 Пономарева О. Н. XVII, 652
 Попов В. Р. XVII, 152
 Попов Д. К. VII, 806
 Попов Е. П. II, 308
 Попович Андрей VII, 74
 Порфирьева Ю. И. XIV, 839
 Потапов М. К. I, 1185
 Претель-Мартинес А. XVII, 1297
 Приданцев М. В. X, 98
 Проводников Л. Я. XIX, 1080
 Протасов В. И. I, 1189
 Прохоров В. Г. XXXIV, 717
 Пхакадзе Ш. С. I, 299
 Раевская О. Г. XXIX, 1359
 Разина Л. Г. XVII, 161
 Разина Н. Ф. XVIII, 404
 Разуваев Г. А. XVI, 842, 1264
 Райков Д. А. I, 760
 Раузер-Черноусова Д. М. XXIV, 1333
 Раутенштейн Я. И. XXIX, 1117
 Раутиан Г. Н. IX, 92
 Ребиндер П. А. XV, 1278
 Резвой П. Д. XXIV, 449
 Рейтлингер Е. А. XXIV, 1098
 Репина Р. С. XV, 851
 Реутов О. А. XIV, 835
 Рехлицкий З. И. I, 29
 Рогинский С. З. XV, 623
 Родионов С. Ф. V, 316
 Родионова К. Ф. XVI, 1290
 Роденталь К. И. XV, 637
 Розенфельд Е. Л. XVII, 1058
 Розенфельд И. Л. XV, 136
 Розовский М. И. IV, 972
 Ройтбурд А. Л. XV, 630
 Ройх И. Л. XV, 372
 Ротфельд Л. С. XXXVII, 723
 Рубин Б. А. XXXIII, 486
 Руkenштейн Е. XV, 1282
 Рыжков В. В. I, 763
 Сабиров Ф. З. XV, 129
 Саблина З. А. XIV, 110
 Саввина Ю. А. 659
 Савельева О. Н. XVII, 165
 Садов И. А. XXXVIII, 1400
 Саев Г. К. XXIX, 1121, 1361
 Салехов Д. В. I, 948
 Световидов А. Н. XXXVII, 221
 Свешников Б. Я. VII, 78
 Седов Л. И. III, 780
 Серб-Сербина Н. Н. XVIII, 659
 Синюков Н. С. I, 766
 Сквирская Е. А. XXXVII, 1388
 Скрынник А. Н. XL, 1403
 Словецкая К. И. XV, 855
 Смигельский О. XV, 1282
 Смирнова С. Н. XXV, 452
 Смолкин Г. Е. VII, 328, 996
 Соболев В. В. VII, 1000
 Соболев В. Д. VII, 808
 Соболев В. И. I, 951
 Соболев С. Л. I, 521
 Соболевский П. Е. I, 19
 Собонович Э. В. XVI, 395
 Соколов А. А. VII, 334
 Соколов Ю. Л. VII, 1219
 Соколова А. И. XXIX, 1117
 Соколова Е. Е. XXVI, 165
 Соколова Е. Б. XXVI, 699
 Соколова И. Б. VII, 992
 Сокольский Д. В. XIV, 609
 Соллертинская Т. XXXVII, 1392
 Соловьев В. Г. VII, 578
 Солодовников А. С. I, 33
 Сорокин П. В. VII, 82
 Сорокин Ю. А. XIV, 1264
 Софронов И. Д. I, 37
 Спирин А. С. XVII, 1297
 Срагович В. Г. I, 768
 Старик И. Е. XVI, 395, 644
 Старикова Н. Д. XX, 1326
 Стендер В. В. XVIII, 404
 Степаненко Б. Н. XVII, 652
 Стильбанс Л. С. X, 1011
 Страхов С. В. XII, 1020
 Стриганова А. Р. XXXV, 903
 Суворова Н. П. XXIV, 1101
 Судаков В. В. VII, 338
 Сулковская М. М. VII, 1219
 Сухаревич П. М. XIX, 681
 Сучкова А. А. XIV, 1045
 Сущик Р. Я. XIV, 1045
 Сыромятникова Н. XXXVII, 730
 Табуева В. А. I, 301
 Такибаев Ж. С. VII, 341
 Тальрозе В. Л. XV, 376
 Таранов А. Я. VII, 82
 Теодорович Г. И. XIX, 434
 Тернов И. М. VII, 334
 Тетере А. XIV, 601
 Тиман А. Ф. I, 542, 771, 955
 Тимофеев Б. В. XIX, 667
 Тимофеев П. П. XIX, 1083
 Тиняков Г. Г. XXVI, 1109
 Тихонова Г. П. XXXV, 217
 Толпыго К. Б. VII, 575
 Толстой Н. А. VII, 582
 Томсон И. Н. XIX, 171
 Тонков Л. В. I, 515
 Топчиев А. В. XIV, 121, 365, 1045, 1260
 Трапезников А. А. XV, 380
 Трофимова З. Г. XXXVII, 232
 Трошин А. С. XXXVII, 221
 Тужикова В. И. XIX, 175

Тузова Л. С. XIX, 663
 Тукачинский С. Е. XVII, 649
 Тустановский А. А. XXXVIII, 1396
 Тузова Л. С. XIX, 663
 Тучинский Л. И. I, 771
 Тысячнюк С. И. XXVI, 456
 Уваров О. В. XV, 384
 Удалов В. С. XI, 593
 Уразовский С. С. XV, 640
 Урысон С. О. XXIX, 1117
 Усик П. А. VII, 341
 Уханов Ю. И. X, 1238
 Фалеева З. Н. IX, 1007
 Федосеева Л. И. XXXIV, 491
 Федотина В. Л. XXIX, 1115
 Фесенко Е. А. XXVII, 202
 Фесенко Е. Г. XIII, 1025
 Фишер И. З. VII, 1212
 Флеров А. Ф. XXXIII, 713
 Флеров В. А. XXXIII, 713
 Фокин А. В. XIV, 1035
 Франкевич Е. Л. XV, 376
 Фрейдлина Р. X. XIV, 114
 Фриденштейн А. Я. XXXV, 497
 Фридман Г. X. VII, 1209
 Фролов В. М. XV, 623
 Фронтасев В. П. X, 1014
 Хайкина Б. И. XVII, 1061
 Хаин В. Е. XIX, 866
 Халанай А. I, 923
 Халфин Л. А. VII, 345
 Харазов Д. Ф. I, 544
 Хведелидзе Б. В. I, 40, 304

Хен Гон Хан I, 959
 Ходаков А. Л. XIII, 1025
 Хомутов Р. М. XIV, 831
 Хохлина Н. С. XXXIV, 489
 Хржановская В. Э. XXIX, 890
 Христов Хр. Я. VI, 981, 1197
 Цонев Д. Т. XVII, 1300
 Цытович Н. А. II, 965, 1193
 Чайковский Э. Ф. X, 1234
 Чайлахян М. X. XXXIII, 482, 894
 Чернавина И. А. XXXIII, 486
 Чернышева М. А. XIII, 596
 Чернышева Т. И. XIV, 1260
 Чернявский П. А. XV, 640
 Чижова Т. П. XL, 250
 Чикин Л. А. I, 44
 Чистякова В. С. XXIX, 887
 Чочиа Н. Г. XIX, 667
 Чугаева М. Н. XXIV, 1336
 Чумаков Н. М. XIX, 863
 Шавловский Г. М. XXIX, 887
 Шалопалкина Т. Г. XV, 380
 Шамоковский Л. М. XV, 140; VII, 811
 Шапошников В. Н. XXIX, 890
 Шарданов А. Н. XIX, 866
 Шатенштейн А. И. XV, 617
 Шафранова М. Г. VII, 992
 Шахпаронов М. И. VII, 815
 Шейнин М. С. XXVIII, 202
 Шейнкер А. П. XXIX, 470

Шигорин Д. Н. XV, 617
 Ширков Д. В. VII, 1201
 Широков А. З. XIX, 685
 Широков Ю. М. VII, 1222
 Шлионский Г. Г. I, 962
 Шматок И. Д. XXXIII, 213
 Шмидт Г. А. XXXVIII, 1153
 Шолохович М. Л. XIII, 1025
 Шпикитер В. О. XVII, 401
 Шпольский Э. В. VII, 1227
 Штеренберг Л. Е. XVI, 1290
 Штраус А. В. I, 773
 Шуйкин Н. И. XIV, 1048
 Шулейкин В. В. VIII, 348
 Щербакова К. Д. XV, 855
 Эльпинер И. Е. XXIX, 470
 Эмануэль Н. М. XV, 1286
 Эскин Г. И. I, 547
 Этлис В. С. XIV, 842
 Эттингер И. Л. XV, 129
 Юданов И. Г. XXIV, 489
 Юдинцева Е. В. XXXIII, 206, 475, 709
 Юркевич И. А. XVI, 674, 870
 Юрьев В. А. XVII, 649
 Явлинский П. А. VII, 319
 Яворская И. М. III, 783
 Яглом А. М. I, 745
 Ягодин Г. А. XV, 384
 Янов Э. Н. XXII, 1330
 Яновская М. Ф. XV, 129
 Яржемский Я. Я. XIX, 687, 1087
 Яхонтова Б. Е. V, 316
 Яхонтова Л. Ф. XV, 388

См. в. I. М. 1919